

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI PLOŠNÝM TVÁŘENÍM

PRODUCTION SINGLE PARTS FROM SHEET METAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR SMUTNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Smutný

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba součásti plošným tvářením

v anglickém jazyce:

Production single parts from sheet metal

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

z variantních návrhů technologií vybrat a navrhnout technologický postup výroby zadané součásti

Cíle diplomové práce:

1. Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
2. Literární studie dané problematiky
3. Návrh technologie výroby součásti
4. Konstrukční řešení tvářecího nástroje
5. Ekonomické hodnocení

Seznam odborné literatury:

FREMUNT, Přemysl, PODRÁBSKÝ, Tomáš. Konstrukční oceli. Brno : CERM, 1966. 267 s. ISBN 80-85867-95-8 .

KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. ČVUT. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1993. 350 s. ISBN 80-01-01003-1.

KŘÍŽ, Václav, VÁVRA, Pavel. Strojírenská příručka. 1. vyd. Praha : Scientia, 1998. 255. ISBN 80-7183-054-2 (váz.)

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design . New York : Industrial Press,, 2004. 219 s. ISBN 0-8311-3182-9.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovával samostatně na základě poznatků získaných na vysoké škole, za použití odborné literatury a po konzultacích s vedoucím diplomové práce.

V Brně 27.května 2011

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavovi Žákovi, Ph.D. za jeho odborné a metodické vedení a rady při zpracování diplomové práce.

ANOTACE

PETR SMUTNÝ: Výrob součásti plošným tvářením. Diplomová práce prezenčního studia magisterského studijního programu STROJÍRENSTVÍ. Obor strojírenská technologie. 2. stupeň, 2. ročník LS, akademický rok 2010/2011, studijní skupina 60. FSI VUT Brno, ÚST odbor tváření kovů a plastů, květen 2011, 65 stran, 9 tabulek, 3 přílohy.

Téma diplomové práce je návrh technologie výroby výlisku s přírubou plošným tvářením. Výtažek je vyroben z ocelového plechu 17240 tloušťky 1,5 mm, výchozí polotovár je tabule plechu o rozměrech 2000 x 1000 mm, při sérii výroby 50000 ks/rok. Pro výrobu jsou navrženy dvě varianty tažení. Součástka bude vyráběna ve dvou krocích na lisu CTH 250. Cílem diplomové práce je navržení vhodného technologického postupu výroby pro zadanou součástku včetně technické dokumentace.

Klíčová slova: výtažek, technologie, tažení, nerotační součásti, nástroj

ANOTATION

PETR SMUTNÝ: Production single parts from sheet metal. Diploma assert of daily magisterial's studies, study programme INDUSTRY. The branch manufacturing technology, level 2, 2nd form, academical year 2010/2011, study group 60. FME of Brno University of Technology, department of forming and plastics, May 2011, 65 pages, 9 tables, 3 supplements.

The theme of this diploma assert is suggestion technology of production drawn part with plange by plat forming. The component is made from the steel sheet 17240 width 1,5 mm. Drawn part is made from sheet about proportion 2000 x 1000 mm, by set of production 50 000 ps/year. For production is designed two variants of deep drawing. The komponent will be made on press CTH250 in two steps. The aim of this diploma assert is designing of suitable technology progression of production including technical documetation.

Keywords: drawn part, technology, drawing, non-rotary parts, tool

Obsah:

Zadání

Čestné prohlášení

Poděkování

Anotace

Obsah

1. Úvod	9
2. Tváření	10
3. Tažení	11
3.1 Technologie tažení	11
3.2 Metody (způsoby) tažení	11
3.3 Tažení výtažků rotačních tvarů	19
3.3.1 Velikost přístřihu	20
3.3.2 Součinitel tažení	21
3.3.3 Určení počtu tažných operací	21
3.3.4 Tažná síla, práce a rychlost	22
3.3.5 Použití přidržovače	24
3.3.6 Tažná mezera a tažný poloměr	25
3.4 Tažení výtažků nerotačních tvarů	26
3.4.1 Stanovení velikosti a tvaru přístřihu	26
3.4.2 Součinitel tažení a počet tažných operací	29
3.4.3 Sestrojení přechodu při tažení symetrických hlubokých výtažků	33
3.4.4 Tažná mezera, tažný poloměr	35
3.4.5 Velikost tažné síly, práce	35
3.5 Technologičnost konstrukce a tvaru výtažku	37
3.6 Nástroje pro tažení	37
4. Návrh technologie výroby součástí	40
4.1 Údaje o výtažku	40
4.2 Výpočet velikosti a tvaru přístřihu	41
4.3 Nástřihový plán	43
4.4 Ekonomické využití tabule plechu	45
4.5 Vystřižení přístřihu a ostřížení příruby	45
4.6 Varianty řešení tažení	46
4.7 Volba vhodného tvářecího stroje	51
5. Konstrukční řešení tvářecího nástroje	52
6. Ekonomické zhodnocení	54
7. Závěr	57

Seznam použitých označení a symbolů

Seznam použité literatury

Přílohy

Nomogram pro stanovení okrajů a můstků v nástřihovém plánu

Mezní stupeň tažení čtyřhranných výtažků - tažení s přidržovačem

Hydraulický uiverzální lis

Výkresová část

Výtažek 4-DP-01/11

Sestava tažidla 2-DP-00/11

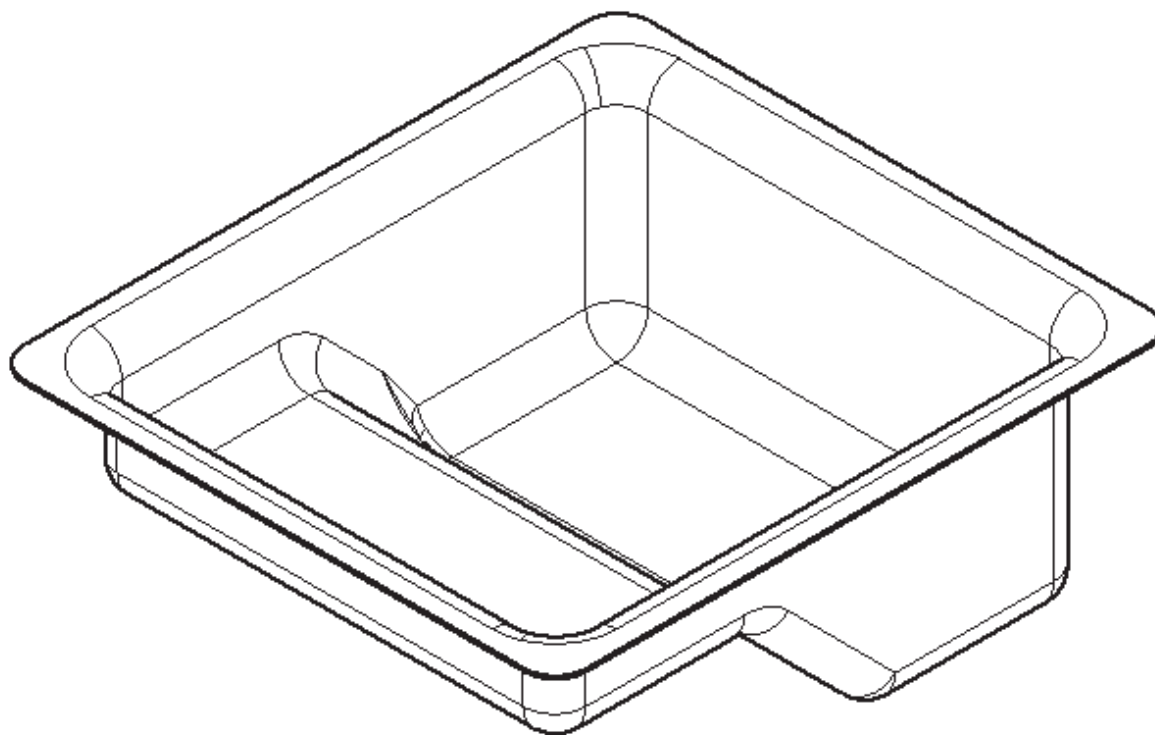
Tažník 2-DP-02/11

Tažnice 2-DP-03/11

1. Úvod

Technologie tváření patří v současnosti mezi dynamicky se rozvíjející výrobní metody. Své uplatnění již nachází nejen ve strojírenství tradičních odvětvích jako je automobilový a letecký průmysl, ale také například v potravinářství, elektrotechnickém průmyslu či výrobě lékařské techniky. Své postavení si technologie tváření získala především schopností skloubit vysokou kvalitu za dostupnou cenu. Tváření patří mezi tzv. beztrískové technologie spořících náklady na materiál. Práci s minimem odpadu, vysokou produktivitou, variabilitou finálních výrobků patří tváření mezi nejefektivnější technologie výroby. Své uplatnění nachází také díky široké škále součástí, ať už z hlediska rozměrů či tvarů, které umožňují výrobní procesy tažení produkovat. Zároveň jsou výtažky poměrně lehké při zachování podstatných vlastností použitých materiálů, jako je například pevnost.

Cílem této diplomové práce je navrhnout výrobu součástky – „jímací nádoby“ metodou plošného tváření. Návrh by měl zahrnovat komplexní přípravu výroby, od volby technologického postupu na základě prostudování dostupné odborné literatury, výpočtů, výběru lisovacího stroje až po konstrukční řešení tažného nástroje. Součástí práce je i ekonomické zhodnocení navrženého výrobního postupu. Mezi použité metody v diplomové práci patří rešerše odborné literatury, komparace, analýza a syntéza.



2. Tváření [3], [8], [9], [16]

Tváření je jedním ze základních procesů strojírenské technologie. Jeho podstatou je změna tvaru a vlastností výchozího materiálu vyvolaná působením vnějších sil. Jeho výsledkem je vytvoření výrobku (výtažku) bez porušení soudržnosti původního materiálu.

Metody tváření lze rozdělit podle převládajícího stavu napjatosti na:

- tváření objemové – jak už název napovídá, jde o tváření s převážně prostorovým stavem napjatosti. Tvar výchozího materiálu je měněn v celém objemu, čímž zároveň dochází k zásadní změně průřezu původního polotovaru. V rámci objemového tváření dále rozlišujeme dle teploty rekrystalizace:
 - a) tváření za studena (pod rekrystalizační teplotou)
 - b) tváření za tepla (nad rekrystalizační teplotou)

Mezi metody objemového tváření patří např. ražení, kování, pěchování

- tváření plošné – plošné tváření je prováděno převážně s rovinným stavem napjatosti, bez podstatné změny průřezu původního polotovaru.

Mezi metody plošného tváření lze zahrnout např. stříhání, ohýbání, tažení.

Jak už bylo výše popsáno, podstatou procesu tváření je především změna tvaru (deformace) používaného materiálu. V závislosti na velikosti vnějších sil způsobujících tyto změny lze rozlišit deformaci elastickou (s návratem do původního stavu) a deformaci trvalou (s nevratnými změnami). Tyto plastické deformace ovlivňují strukturu a vlastnosti používaného materiálu, což je nutné při procesu tváření zohledňovat.

Klíčovou vlastností materiálu pro proces tváření je jeho plasticita, která je definována velikostí přetvoření do porušení tělesa v určitých termo-mechanických podmínkách. Tato vlastnost materiálu je ovlivňována řadou faktorů. Rozhodující vliv mají převážně chemické vlastnosti kovu, ale také např. tvar, objem a uspořádání vměstků.

Plasticita materiálu se zásadním způsobem podílí na volbě vhodnosti konkrétního materiálu ke tváření. K tomuto účelu se používají mechanické zkoušky (např. zkouška tahem, zkoušky tvrdosti) a technologické zkoušky plechů (např. zkouška hloubením podle Erichsena, Tomlenova zkouška).

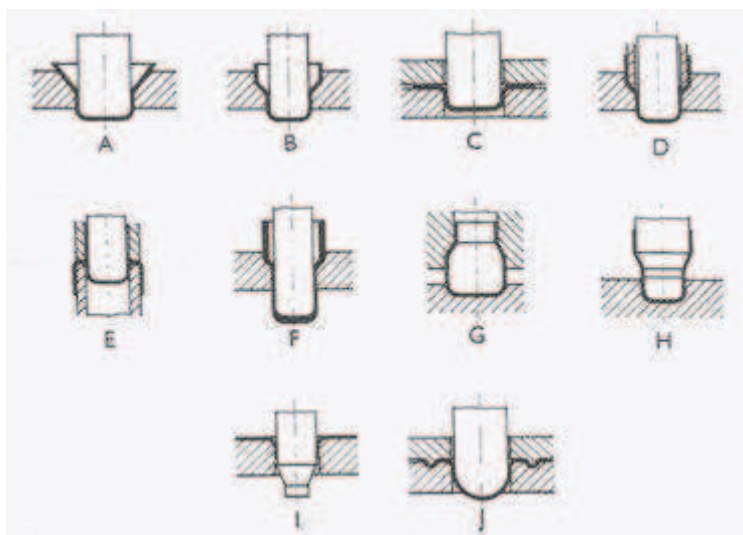
3. Tažení [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [10], [12], [16], [17], [20]

3.1 Technologie tažení [3]

Tažení je technologický proces, při kterém dochází k trvalému přetvoření rovinného tvaru přístřihu na tvar prostorový. Pomocí tažných nástrojů (tažidel) vznikají výrobky miskových tvarů tzv. výtažky. Na výchozí polotovar tzv. přístřih plechu je vyvíjen tlak tažníkem, který má za následek vměstnění polotovaru do otvoru tažnice, čímž dojde k deformaci ve tvaru požadovaného konečného výrobku. Tažením lze získat výtažky rozmanitých tvarů, ať už rotačních nebo nerotačních, symetrických nebo nesymetrických. Podle hloubky výtažku se rozhoduje, zda je výrobek vytažen v jedné, nebo více operacích. Polotovar pro samotný proces tažení tzv. přístřih vzniká technologií stříhání, která je nejčastějším způsobem zpracování plechu. Principem stříhání je oddělení materiálu (plechu) podél křivky stříhu břity nožů umístěných na protilehlých stranách.

3.2 Metody (způsoby) tažení [1], [4], [16], [17], [20]

- Konvenční
 - Bez ztenčení stěny
 - Tažení bez přidržovače
 - Tažení s přidržovačem
 - Se ztenčením stěny
 - Zužování
 - Rozšiřování
 - Protahování
 - Přetahování
 - Žlábkování
- Nekonvenční
 - Tváření pryží
 - Tváření kapalinou



Obr.1: Technologické způsoby tažení [6]

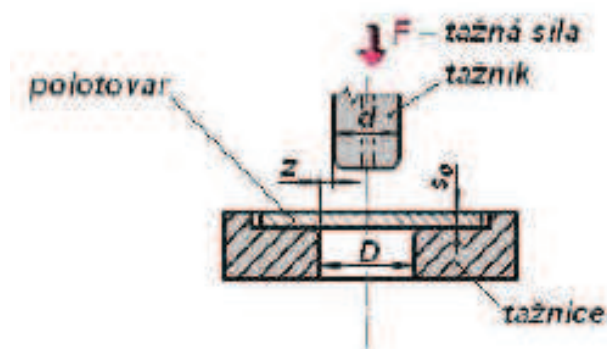
A, B - tažení bez přidržovače, 1. a 2. tah, C, D - tažení s přidržovačem, 1. a 2. tah, E – zpětné tažení (obracení), F – tažení se ztenčením stěny, G – zužování, H – rozšiřování, I – lemování (přetahování), J – vypínání

A Konvenční metody tažení

a) Tažení bez ztenčení stěny – tzv. prosté tažení, bez podstatné změny tloušťky materiálu

- Tažení bez přidržovače

Tento způsob se používá pro tažení mělkých a tvarově jednoduchých výtažků. Z hlediska konstrukce jsou tažidla bez přidržovače jednoduchá, levná a provozně spolehlivá. Aby při tažení nedocházelo ke zvlnění okraje taženého přístříhu, je nutná malá redukce Tato metoda se používá např. při tažení na jednočinných lisech.

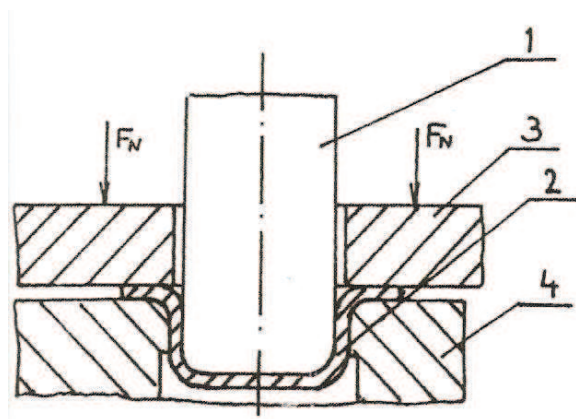


Obr.2: Schéma tažení bez přidržovače[6]

1 – tažník, 2 – tažnice, 3 – tažený materiál

- Tažení s přidržovačem

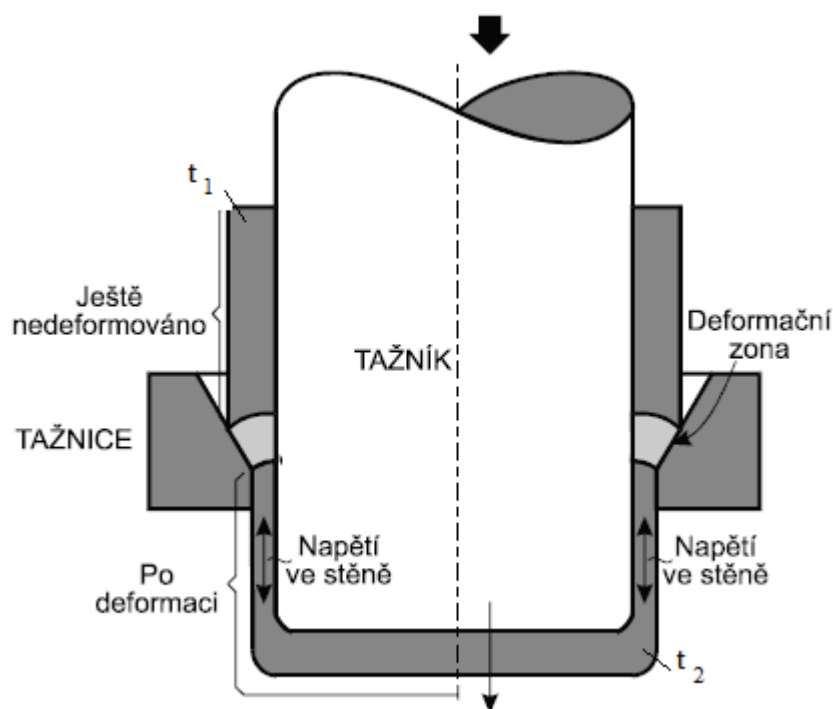
Při tomto způsobu je tažený polotovár během tažení přidržován přidržovačem, což má za následek dosažení větší redukce. Důsledkem je zabránění vzniku zvlněného okraje přístřihu. Pro tažení s přidržovačem se používají jednočinné a dvojčinné lisy.



Obr.3: Schéma tažení s přidržovačem [1]

1 – tažník, 2 – tažený materiál, 3 – přidržovač, 4 – tažnice

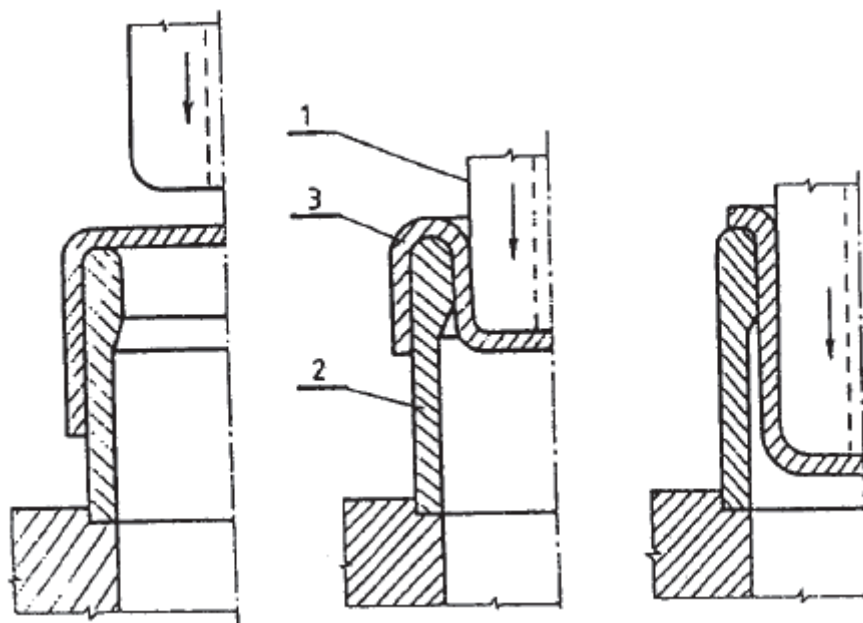
b) Tažení se ztenčením stěny - obvykle se používá u součástí s menší tloušťkou stěny než je tloušťka dna. Při tomto způsobu se změny rozměry výtažku a původní tloušťka stěny t_1 se změny na t_2 , tedy dojde k zeslabení tloušťky stěny výtažku oproti tloušťce původního polotovaru. Tím zároveň dochází i k prodloužení výtažku. Tloušťka stěny je redukována v mezeře mezi tažníkem a tažnicí. Tažení touto metodou je obvykle prováděno u druhých a dalších tahů.



Obr.4.: Tažení se ztenčením stěny [20]

c) Zpětné tažení - používá se tam, kde nemusí být použito přidržovače, nebo při tažení se zvýšenou tažnou silou. Uplatnění nachází především ve výrobě výtažků kulovitých, nebo

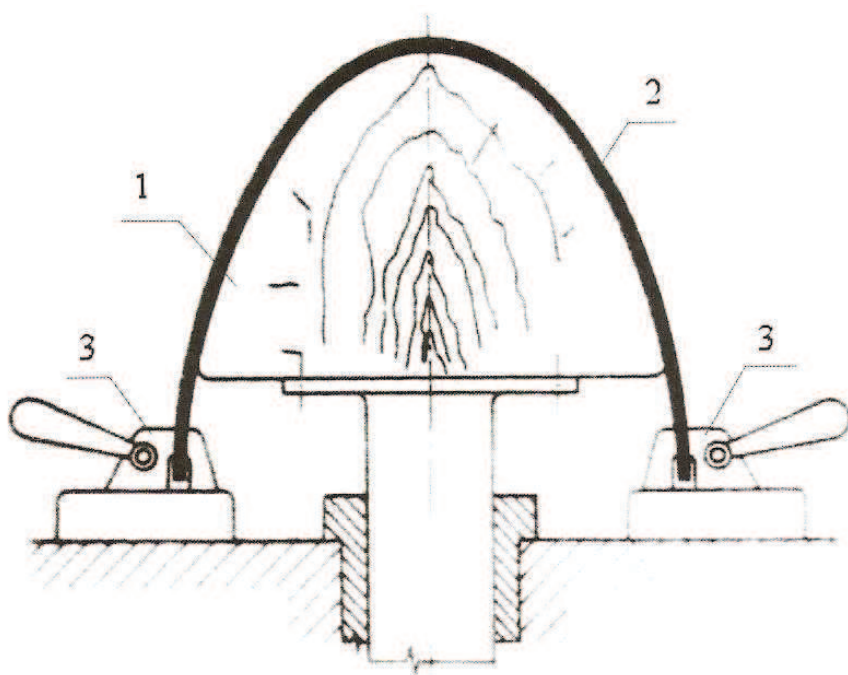
elipsovitých tvarů. V prvním tahu se vytáhne válcový výtažek běžným sdruženým tažidlem a ve druhé operaci se provede tažení v obráceném směru. Materiál při tomto tažení není tolik namáhán, tudíž nedochází k velkému zeslabení materiálu a ve většině případu ani ke zvlnění okrajů výtažku.



Obr.5: Zpětné tažení [16]

1 – tažník, 2 – tažnice, 3 – výtažek

d) Vypínání (někdy označováno jako přetahování) - proces tažení, při kterém je přístřih plechu napínán přes tažník. Výsledný výstřižek tedy tvarově kopíruje tažník. Přístřih je pevně upnut na obou koncích. Nevýhodou této technologie je velká spotřeba materiálu, neboť konce materiálu, které jsou upnuty v kleštinách, se odstřihují.



Obr.6: Schéma vypínání [1]

1 – tažník, 2 – plech, 3 – upínací kleštiny

B Nekonenční metody tažení

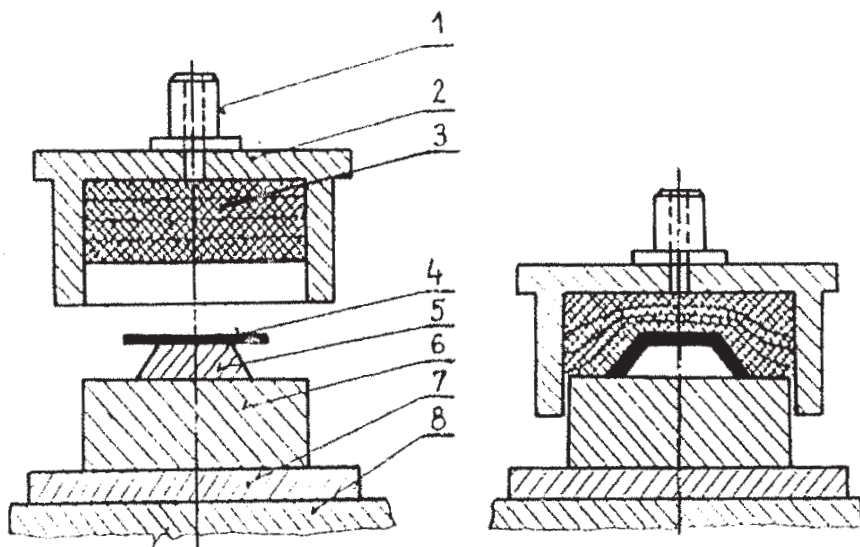
Nekonenční (alternativní) způsoby tažení se používají pro výrobu specifických tvarů výtažků, nebo jsou to způsoby využívající jiné prostředí. Mezi tyto způsoby patří např. tváření nepevnými nástroji. Tváření plechu složitých nepravidelných tvarů klasickým konvenčním způsobem tj. pevným nástrojem je obtížné a finančně náročné. Proto se zavedly nové technologie tváření nepevnými nástroji.

V principu se tyto metody odlišují předáním části funkcí nástroje plastickým prostředím. Plastickým prostředím může být pryž, polyuretan, kapalina, ale i jejich kombinace.

a) Tažení pryží

- Metoda Guerin

Principem této technologie je nahrazení ocelové tažnice skříní s elastickým pryžovým polštářem. Tato skřín s pryží koná pracovní pohyb. Působením tlaku dojde k deformaci přístřihu plechu, který je podepřen tažníkem. K tažení se většinou používá hydraulický lis. Tato technologie je vhodná pro různé druhy stříhání, ohýbání a jednoduché tažení, přičemž pro stříhání se používá pryž o vyšší tvrdosti, než pro tažení. Tažením hlubších výtažků vznikají vlny. Částečně těmto vlnám lze zabránit použitím deskového přidržovače. K tažení se většinou používá hydraulický lis. Výhodou této metody je poměrně jednoduchá konstrukce nástroje a vlastnosti pryže, která nezanechává na povrchu výtažku žádné stopy. Nevýhodou je nutnost velkých sil při tváření a náchylnost na zvlnění okraje plechu u hlubších tahů.



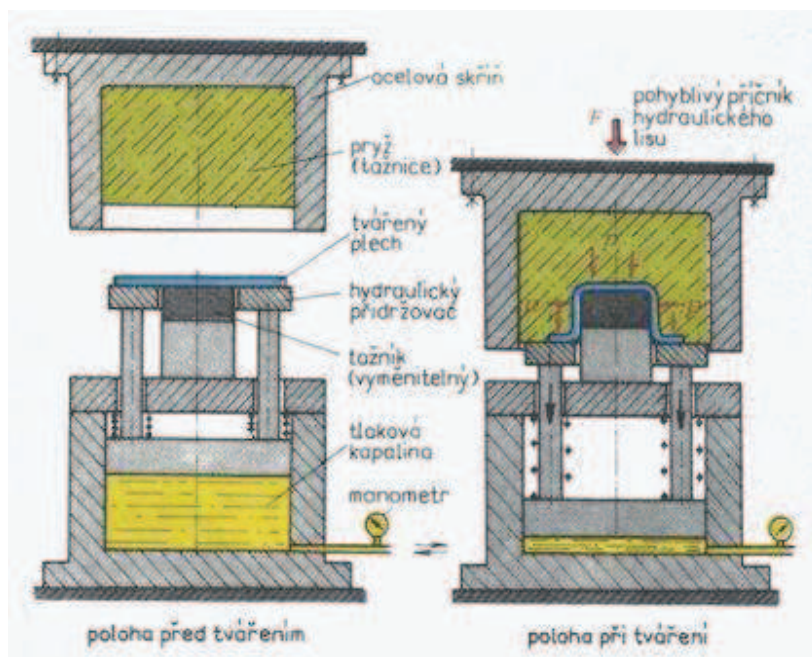
Obr.7: Metoda Guerin [1]

1 – upínací stopka nástroje, 2 – ocelová deska s dutinou pro pryž, 3 – pryžový polštář, 4 – plech, 5 – tažník, 6 – spodní deska, 7 – základová deska, 8 – stůl lisu

- Metoda Marform

Tato metoda je také založena na nahrazení ocelové tažnice pryžovým polštářem, který je umístěn v ocelové skříní. Navíc je na nástroji umístěn také hydraulický píst, který podepírá přidržovač. Ten je stlačován, když horní část nástroje s pryží začne sestupovat a působit tlakem na přístřih, který se táhne až do požadovaného tvaru. Po dokončení pracovního

pohybu se horní část tažidla zvedne do počáteční polohy. Od předcházející technologie se liší větší použitou vrstvou pryže. Výška pryže musí být alespoň trojnásobná, než je výška výlisku, aby nedocházelo k rychlému opotřebování a ztrátě elasticity pryže. Je zároveň vhodná i pro hluboké tažení ocelových i neželezných plechů. Za výhodu této metody lze považovat například její možné použití pro hlubší tahy, nižší pořizovací cena nástroje či stejnoměrná tloušťka výtažku. Nevýhodou lze spatřovat například v nutnosti velké energie k přetvoření pryže či nízké životnosti pryže.

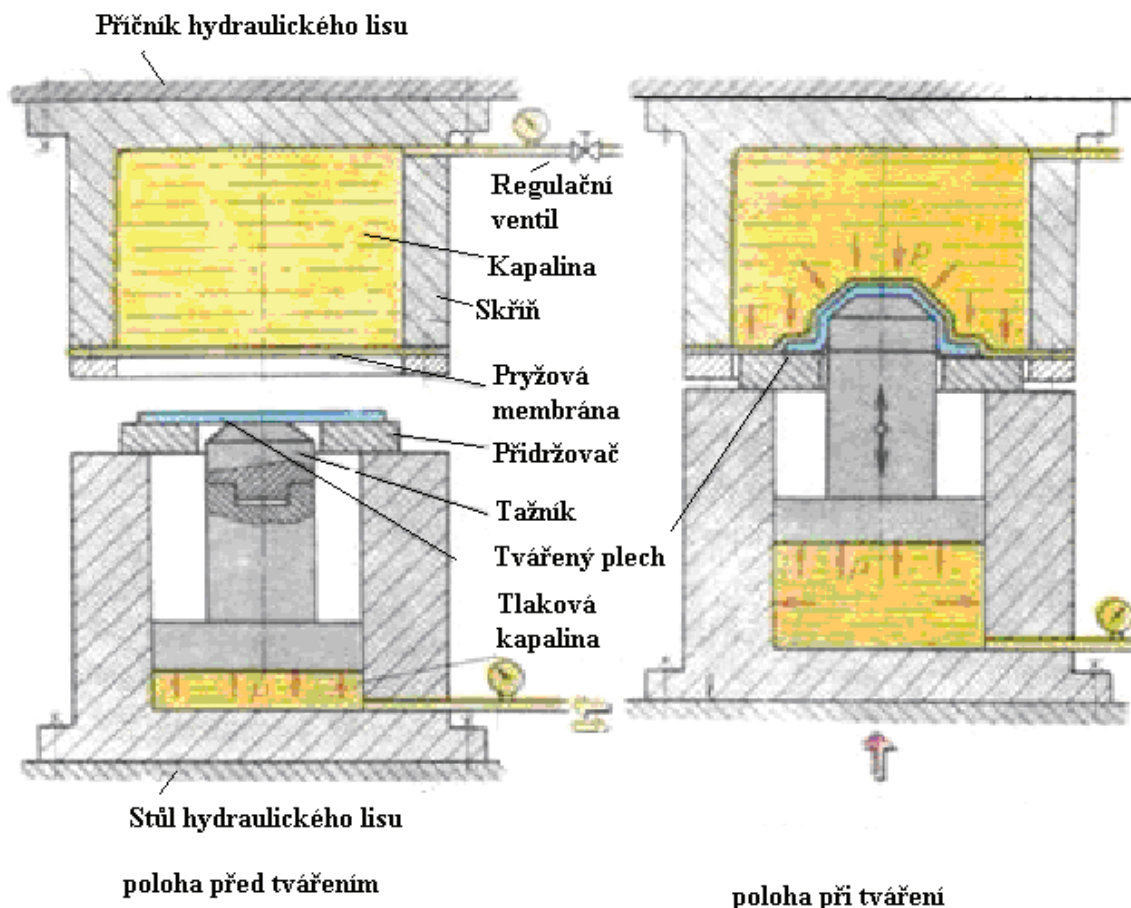


Obr.8: Metoda Marform [17]

b) Tažení kapalinou

- Metoda Hydroform

Tato technologie je podobná metodě Marform. Také se používá pro hluboké tažení, ale pryž je nahrazena nádobou s kapalinou. Principem je tedy tažení uskutečňované pomocí kapaliny, která je umístěna mezi membránou a ocelovou objímkou. Kapalina nahrazuje v tomto případě tažnici. Do nástroje se vloží přístřih, ke kterému se přitlačí přidržovač. Potom následuje pohyb tažníku, který se vtlačuje do nádrže naplněné vodou, čímž dochází k tváření materiálu. Tlak kapaliny je proměnný a postupně narůstá. Výhodou této technologie je například menší počet tažných operací, možnost vyrábět složité výtažky, použití poměrně jednoduchých tvářecích nástrojů či neztenčování plechu tažením. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady lisu.

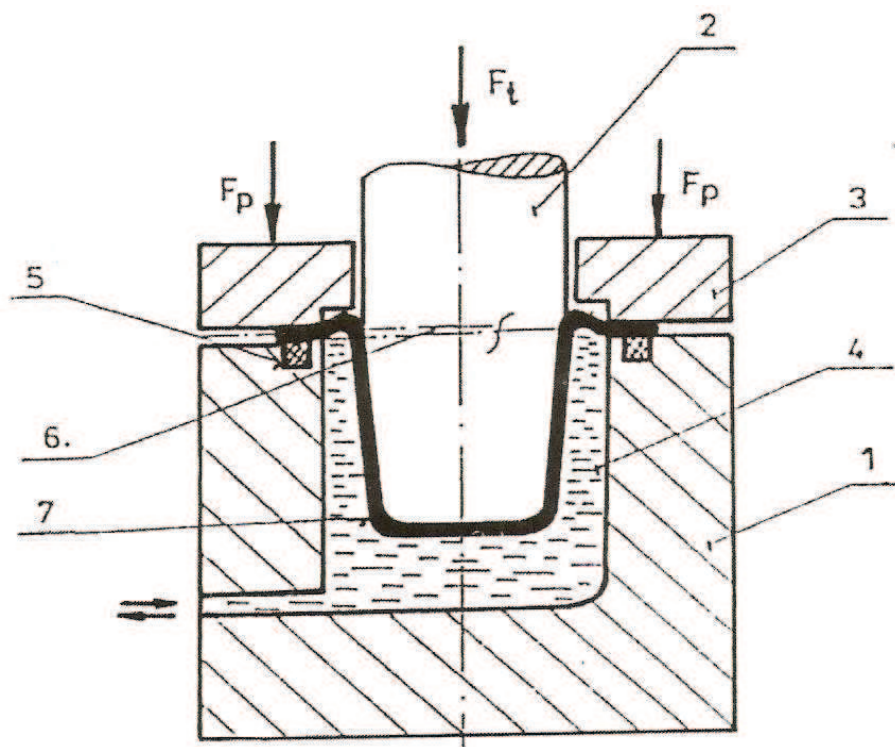


Obr.9: Metoda Hydroform [17]

- Hydromechanické tažení - HMT

Hydromechanické tažení (dále jen HMT) patří mezi metody vhodného tváření vyžadující větší zdvih (např. hlubší tah) a zároveň lze při něm používat i přidržovač. Tato metoda je používána pro výrobu hlubších dutých nádob rotačních i nerotačních tvarů. Nástroj pracující s touto metodou se skládá z: tažné komory (1), která představuje tažnici, tažníku (2) uchyceného v tažném beranu a tažné dutiny (4), která je plněna sodnou vodní emulzí z hydraulického obvodu. V blízkosti tažné hrany je umístěna drážka s těsněním. Výtažek vzniká z přístřihu plechu, který je založen na základací rovinu, přičemž jeho spodní strana je ve styku s kapalinou v tažné komoře. Po dosednutí přidržovače dojde k uzavření a utěsnění soustavy: přístřih plechu – tažná komora. Tažník dosedá na plech a vniká do objemu kapaliny. Vzniklý prudký nárůst tlaku v tažné komoře způsobí vytvarování plechu – jeho „nabalení“ na tažník, čímž je dosažen konečný tvar dutého válcového výtažku. Součástí nástroje je řídicí a regulační systém, přes který je odváděna přebytečná kapalina z tažné komory. Velikost tlaku se v průběhu tažení mění při použití programovatelného hydraulického obvodu. Díky citlivé regulaci tlaku, lze vytáhnout i z tenkých plechů výtažky kuželových, parabolických a složitějších tvarů. Součinitel tažení bývá v rozmezí $m = 0,38$ až $0,4$. V případě tažení hlubších válcových výtažků v jedné operaci až $m = 0,3$. Tato metoda v sobě zahrnuje řadu výhod např. snížení počtu tažných operací, kvalitní povrch výtažku, příznivé tvářecí podmínky při tažení – tažná hrana je vytvořena tlakovou kapalinou, dosažení velké přesnosti výtažku bez nutnosti kalibrace, minimální ztenčení výtažku v ohybu u dna, variabilita využití tažné komory (pro různé druhy podobných výlisků) aj. Nevýhodou jsou vyšší počáteční náklady spočívající

v pořizovací ceně stroje a nutnosti použít speciálních nástrojů a také větší celková tažná síla vyvinutá na tažník (k překonání tlaku kapaliny).



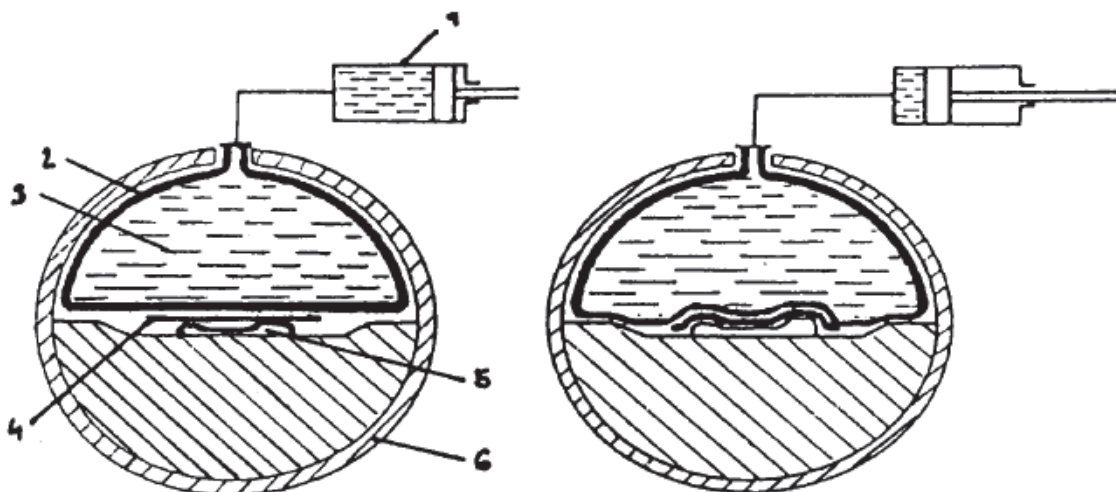
Obr.10: Princip hydromechanického tažení plošného výtažku [4]

1 – tažnice, 2 – tažník, 3 – přidržovač, 4 – tažná dutina, 5 – drážka s těsněním, 6 – polotovar, 7 – výtažek

c) Tažení za pomoci kapaliny a pryže

- Metoda Wheelon

Tato metoda využívá k tváření jak kapalinu, tak pryž (metoda Hydroform do jisté míry také využívá pryž ve formě pryžové membrány). Lze ji považovat za určitou obdobou metody Guerin, místo pryže se však zde používá kapalina, která je umístěna v pryžovém vaku. Vak, který je naplňován kapalinou, se roztahuje a tlakem působí na pryžovou membránu oddělující od sebe obě poloviny nástroje. Přístřih plechu je tvarován přes tažník, na kterém je umístěn. Tato technologie je vhodná pro mělké tažení výtažků, stříhání a ohýbání. Výhodou této metody je její použití i pro výtažky složitých tvarů a poměrně rozměrné (velká plocha pracovního stolu). Nevýhodou je opět ekonomická stránka procesu výroby spočívající ve vysoké ceně pryžového vaku či malém počtu pracovních cyklů za hodinu.



Obr.11: Metoda Wheelon [16]

1 – hydraulický válec, 2 – pryžový vak, 3 – tlakové médium, 4 – plech, 5 – tažník, 6 – těleso nástroje

3.3 Tažení výtažků rotačních tvarů [1], [2], [4], [5], [6], [8], [12], [17]

Tažení výtažků symetrických rotačních tvarů patří k nejznámějšímu a nejjednoduššímu způsobu tažení plechu. Je založeno na předpokladu symetrického stavu napětí a deformace. Vztahy pro výpočet těchto výtažků jsou zároveň i základem pro tažení výtažků nerotačních tvarů. Rotační výtažky pak navíc v mnoha případech slouží jako výchozí polotovary pro tažení nerotačních výtažků např. čtvercových.

Fáze tažení:

vložení materiálu (polotovaru) na tažnici → sevření přidržovačem → pohyb tažníku směrem k materiálu a jeho protlačení otvorem tažnice → návrat tažníku a přidržovače do původní polohy (2,8 M).

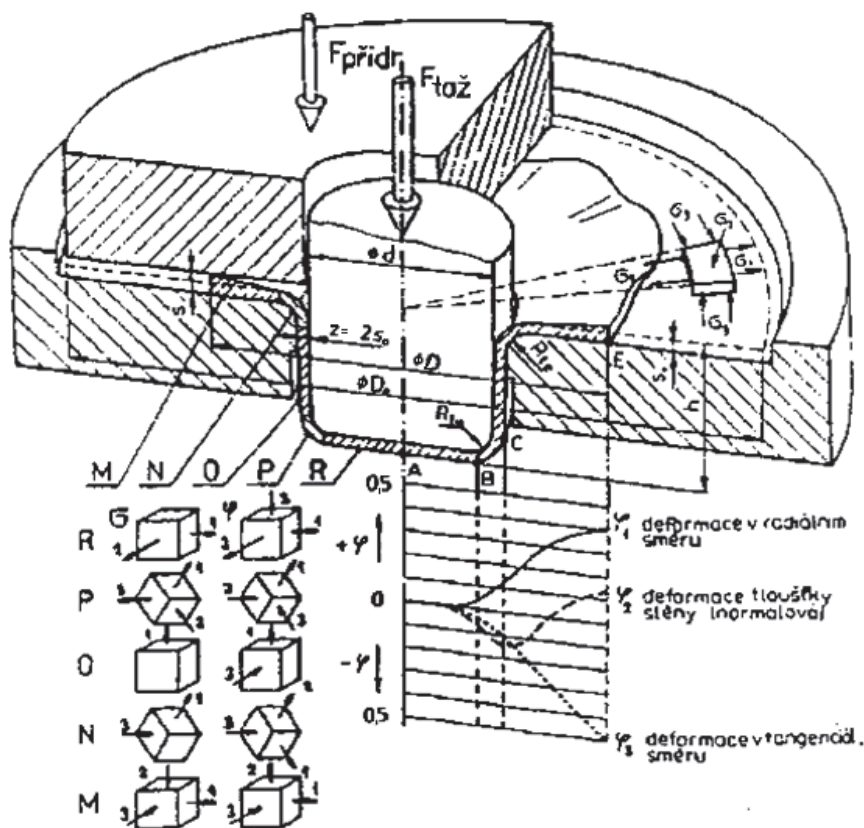
Následující schéma zobrazuje napjatost při jednotlivých fázích tažení. Tato napjatost se mění nejen v různých fázích tažení, ale také v různých místech polotovaru:

R) dno výtažku – rovinná a tahová napjatost a prostorová deformace

M) v přírubě polotovaru – prostorová napjatost a deformace

O) válcová část výtažku – působení jednoosé tahové napjatosti a rovinné deformaci. Zvláště velká napjatost působí v místě přechodu válcové části výtažku ve dno. Tato oblast je velice náchylná na porušení výtažku.

N) na poloměru tažnice – vznik deformace způsobená prostorovým ohybem za současného působení největšího radiálního tahového napětí σ_1 a malého tečného tlakového napětí σ_3 .



Obr.12 Mechanické schéma napětí a deformací při tažení [4]

3.3.1 Velikost přístřihu [2]

Určení velikosti přístřihu je jeden z faktorů ovlivňující kvalitu finálního výtažku. Při určování velikosti přístřihu se vychází z předpokladu, že se tloušťka materiálu (na stěnách a dně) nemění, tudíž se plocha přístřihu rovná ploše výtažku (zákon zachování objemu). U válcové součásti má polotovar tvar kruhu.

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = S_V \quad [\text{mm}^2] \quad (1)$$

Splocha přístřihu $[\text{mm}^2]$

S_Vplocha výtažku $[\text{mm}^2]$

Dprůměr přístřihu $[\text{mm}]$

Z toho vztahu si vyjádříme vztah pro výpočet rozměru výchozího polotovaru:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_V} = 1,13 \sqrt{S_V} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

Plocha výtažku se skládá ze součtu povrchu jednotlivých částí výtažku včetně velikosti příruby a přidavku na odstřižení.

$$S_V = \sum S = S_1 + S_2 + \dots + S_n \quad [\text{mm}^2] \quad (3)$$

V případě složitější tvaru výtažku se používá pro stanovení povrchu Guildinova pravidla: povrch tělesa S vytvořený otáčením křivky libovolného tvaru podle osy se rovná součinu z délky tvořící křivky L a dráhy těžiště této křivky. Pak platí vztah:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot L \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4)$$

x ...vzdálenost těžiště tvořící křivky od osy tělesa [mm]

Potom průměr výstřižku je:

$$D = \sqrt{8 \cdot L \cdot x} \text{ [mm]} \quad (5)$$

kde $Lx = l_1x_1 + l_2x_2 + l_3x_3 + \dots$ je součet součinů dílčích délek $l_{1...n}$ a vzdálenost těžišť těchto délek od osy tělesa x .

Dalším možným způsobem stanovení velikosti průměru přístřihu je grafická metoda, která se používá především pro výstřižky složitějších tvarů.

3.3.2 Součinitel tažení [2]

Tahové napětí jeví vzrůstající tendenci s rostoucí výškou výtažku. Součinitel tažení m , jako jeden z ukazatelů velikosti deformace, vychází ze vztahu pro poměrné přetvoření:

$$\text{Pro první tah: } m_1 = \frac{d}{D} \text{ [-]} \quad (6)$$

d ...konečný průměr výtažku [mm]

D ...průměr přístřihu [mm]

$$\text{Pro další tahy platí: } m_n = \frac{d_n}{d_n - 1} \text{ [-]} \quad (7)$$

Celkový součinitel tažení je dán součinem součinitele jednotlivých tahů:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n \text{ [-]} \quad (8)$$

Převrácená hodnota součinitele tažení m je stupeň tažení K

$$m = \frac{d}{D} = \frac{1}{K} \text{ [-]} \quad (9)$$

Na volbu součinitele tažení má vliv několik faktorů: vlastnosti materiálu, tloušťka plechu, tvar výtažku, jakost povrchu plechu, rychlosti tažení, druh maziva a hlavně na geometrii tažného nástroje. Čím je kvalitnější mazivo a tloušťka plechu větší, tím je možno zvolit hodnotu součinitele tažení nižší.

3.3.3 Určení počtu tažných operací [2], [5], [8]

Počet tahů závisí na tvárnosti materiálu, velikosti a tvaru výtažku a na tloušťce taženého materiálu. Pokud součinitel pro první tah nedosahuje doporučené hodnoty je nutno výtažek táhnout na více operací.

$$\text{První tah: } d_1 = m_1 \cdot D_0 \quad (10)$$

$$\text{Druhý tah: } d_2 = m_2 \cdot d_1 = m_2 \cdot m_1 \cdot D_0 \quad (11)$$

$$\text{N – tý tah: } d_n = (m_n)^{n-1} \cdot m_1 \cdot D_0 \quad (12)$$

kde d_1, d_2, \dots jsou střední průměry výtažků v jednotlivých operacích [mm]

Celkový součinitel tažení je dán součinem tažení jednotlivých tahů:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n [-] \quad (13)$$

$$\text{Dle normy ČSN 227301 se doporučuje součinitel tažení } m^* = 0,75 \div 0,85 [-] \quad (14)$$

Vztah pro výpočet počtu tažných operací pro víceoperační tažení:

$$n^* = 1 + \frac{\ln \cdot d_n - \ln \cdot (m_1 \cdot D_0)}{\ln \cdot m^*} [-] \quad (15)$$

3.3.4 Tažná síla, práce a rychlost [1], [2], [4], [6], [12]

Určení tažné síly a práce je zásadní pro správný výběr lisu. Ke stanovení tažné síly a práce lze dle dostupné literatury použít několik vztahů:

a. **teoretické** – vycházející z rozboru napjatosti a deformací

b. **praktické** – vycházející z předpokladu, že dovolené napětí je na mezi pevnosti.

Tažná síla musí být o něco menší než je maximální síla, při které dojde k odtržení bočních stěn výtažku při přechodu do dna.

Celková síla:

$$F_c = F_t + F_p + F_v \quad (16)$$

F_t ...tažná síla [N]

F_p ...přidržovací síla [N]

F_v ...vyhazovací síla [N]

Maximální tažná síla (síla na utržení dna) dosahuje maximální hodnoty, když tažník dosahuje kritické hloubky (bod, ve kterém je středy poloměr zaoblení hran tažnice a tažníku v jedné rovině. V tomto bodě je tření největší a projevuje se i vliv zpevnění materiálu.

$$F_{t_{\max}} = O \cdot t_0 \cdot R_m = \pi \cdot d \cdot t_0 \cdot R_m \quad [\text{N}] \text{ podle ČSN 227301} \quad (17)$$

Oobvod dna výtažku [mm]

R_m ...mez pevnosti materiálu [MPa]

dprůměr výtažku [mm]

t_0tloušťka plechu [mm]

Skutečná tažná síla je obvykle menší než síla maximální a její velikost závisí na součiniteli C v závislosti na součiniteli tažení. V tabulce jsou uvedeny některé hodnoty součinitele C (při

optimální velikosti tažného radiusu a tažné mezery)

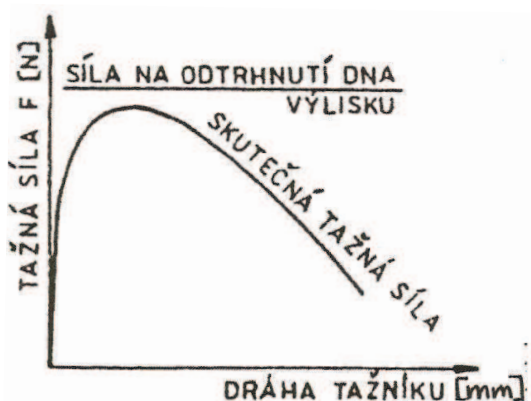
$$F_t = C \cdot O \cdot t_0 \cdot R_m = C \cdot \pi \cdot d \cdot t_0 \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (18)$$

C.... součinitel odvozený od součinitele tažení m

Tab.1: Vybrané hodnoty součinitele C [4]

C	1,00	0,86	0,72	0,60	0,40
m=d/D ₀	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80

V případě, že skutečná tažná síla je větší než maximální a došlo by k utržení dna, musí se zařadit mezioperační žihání k obnově potřebné plasticity materiálu.



Obr.13: Průběh tažné síly[4]

Práce při tažení:

$$A_t = \frac{C \cdot F_c \cdot h}{1000} \quad [\text{J}] \quad (19)$$

F_c....největší potřebná síla [N]

h....hloubka výtažku (pracovní zdvih) [mm]

C....koeficient charakterizující poměr mezi plochou diagramu (F_{max} . h) a skutečným průběhem (bez kalibrace dna C=0,66, s kalibrací dna C=0,8)

Tažná rychlost

Tažná rychlost je sledována především z důvodu neporušení výtažku, ke kterému dochází při překročení určité hranice rychlosti tažení. Tažná rychlost závisí na době trvání jednoho pracovního cyklu. Příklady hodnot tažných rychlostí při tažení běžným tažidlem jsou uvedeny v tab. 2.

Tab.2: Doporučené rychlosti tažení

Tažný materiál	Tažná rychlost [m/min]
Austenitická korozivzdorná ocel	7
Nelegovaná ocel	17
Hliník a jeho slitiny	25
Měď a její slitiny	66

3.3.5 Použití přidržovače [4]

Důvodem používání přidržovače je zamezení vzniku vln na okraji výtažku při procesu tažení. U tažení mělkých a tvarově jednoduchých výtažků není nutné používat přidržovač. Z hlediska konstrukce jsou tažidla bez přidržovače jednoduchá, levná a provozně spolehlivá.

Empirické vztahy ověřené praxí pro rozhodnutí o nutnosti použití přidržovače:

- Podle Freidlinga z poměrné tloušťky

$$\Delta t = \left(\frac{t_0}{D_0} \right) \cdot 100 \quad [-] \quad (20)$$

$\Delta t < 1,5$ je nutný přidržovač

$\Delta t > 2$ lze táhnout bez přidržovače

$\Delta t = (1,5 \div 2)$ je nutné způsob tažení ověřit

- Šofman doporučuje zkontrolovat potřebu přidržovače dle rovnice:

$$D_0 - d \leq 18 \cdot t_0$$

(21)

Je-li splněna podmínka, lze táhnout bez přidržovače

- Nutnost použití přidržovače uvádí norma ČSN 227301 dle rovnice:

$$k_p = 50 \cdot \left(z - \frac{\sqrt{t_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad [-] \quad (22)$$

z....materiálová konstanta

Tab.3: Příklady hodnot materiálové konstanty z

z	Materiál
1,9	Ocelový hlubokotažný plech
1,95	Mosazný plech
2,00	Hliníkový plech

Je-li $k_p \geq \left(\frac{100 \cdot d}{D_0} \right) \rightarrow$ je nutné použít přidržovač

V dalších tazích je-li $\frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9$

Je-li $k_p < \left(\frac{100 \cdot d}{D_0} \right) \rightarrow$ je možné táhnout bez přidržovače

Hluboko tažené plechy tloušťky do 0,5 mm se táhnou s přidržovačem vždy.

Síla přidržovače:

Výpočet síly přidržovače je důležitý z důvodu plnění jeho funkce. Jestliže by byla síla přidržovače příliš malá, nezabránil by přidržovač vzniku vln na výtažku, naopak při příliš velké síle by mohlo dojít k trvalému poškození výtažku.

$$F_p = S_c \cdot p_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot p_p \quad [\text{N}] \quad (23)$$

S_cčinná plocha pod přidržovačem [mm^2]

p_pměrný přidržovací tlak [MPa] viz. tab.4.

Tab.4: Doporučené hodnoty měrných tlaků [4]

Materiál	Tlak [MPa]
Ocelový hlubokotažný plech	2,0 až 3,0
Nerezový plech	2,0 až 5,0
Měděný plech	1,2 až 1,8
Mosazný plech	1,5 až 2,0
Hliníkový plech	0,8 až 1,2

3.3.6 Tažná mezera a tažný poloměr [4], [6]

Tažná mezera z_m , tedy mezera mezi stěnami tažníku a tažnice, se volí větší než je tloušťka materiálu, aby nedošlo k napěchování. Velikost mezery ovlivňuje především druh a stav taženého materiálu, poloměr zaoblení, rychlost tažení, mazání atd. Tažná mezera se stanoví:

a) *podle Oehlera*

$$z_m = t_{\max} + k \cdot (\sqrt{10 \cdot t_0}) \quad [\text{mm}] \quad (24)$$

z_mtažná mezera [mm]

ttloušťka materiálu [mm]

kkoeficient (pro ocelové plochy např.0,07)

b) *dle normy ČSN 22 7301:*

$$z_m = (1,2 \div 1,3) \cdot t_0 \quad [\text{mm}] \quad \text{pro první tah} \quad (25)$$

$$z_m = (1,1 \div 1,2) \cdot t_0 \quad [\text{mm}] \quad \text{pro poslední tah} \quad (26)$$

Příliš velká tažná mezera způsobuje zvlnění pláště výtažku, naopak příliš malá mezera by mohla vést až k roztržení taženého materiálu. Při kalibrování je tažná mezera rovna tloušťce t_0 taženého plechu, tak aby nedošlo ke vzniku vln a zborcení čisté válcové plochy.

Poloměr zaoblení hran tažnice r_t a tažníku r_p má vliv na průběh tažné síly. Malý poloměr způsobuje ostrý ohyb a možnost trhání taženého materiálu. Oproti tomu při velkém poloměru může docházet k zvlnění okraje přístřihu. Poloměry zaoblení se určí ze vztahu:

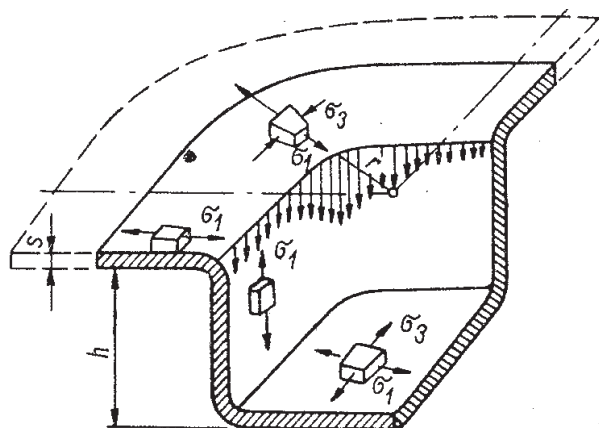
$$r_t = r_p = (8 \div 10) \cdot t_0 \quad [\text{mm}] \quad \text{první tah} \quad (27)$$

$$r_t = r_p = (6 \div 8) \cdot t_0 \text{ [mm]} \quad \text{pro následující tahy} \quad (28)$$

3.4 Tažení výtažků nerotačních tvarů [1], [2], [6], [7]

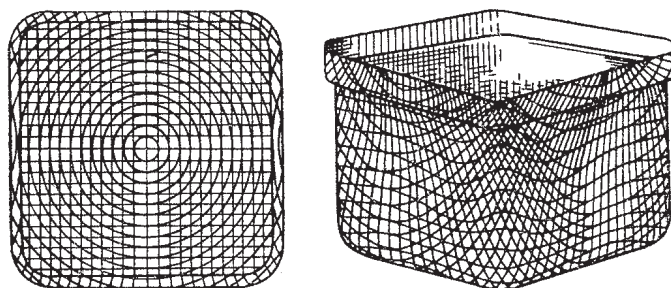
Základním rozdílem mezi tažením výtažků rotačních a nerotačních tvarů je napěťová nerovnost podél tažné hry, ke které dochází při tažení hranatých výtažků. Důsledkem je vznik nerovnoměrné deformaci. Při tažení výtažků nerotačních tvarů se předpokládá, že stav napjatosti materiálu v rozích je podobný jako při tažení válcových nádob o průměru odpovídajícím jejich zaoblení a na rovných stěnách je podobný jako při ohybu. Při tomto ohybu je podélné tahové napětí největší v poloměrech zaoblení výtažku, nejmenší na přímých stěnách. Pro ilustraci byl jako příklad výtažku nerotačního tvaru, zvolen čtyřhranný výtažek.

Schéma napjatosti při tažení výtažků nerotačního tvarů (např. čtyřhranných výtažků se zaoblenými hranami a o výšce h) je zobrazeno na Obr.14:



Obr.14: Schéma napjatosti při tažení čtvercových nádob[2]

Složitost napjatosti je dobře charakterizována deformací sítě, která byla nanesena na výstřižek. Z obr.15 je zjevné, že boční stěny nejsou pouze ohýbány, ale také čelí složitější napjatosti a deformaci.



Obr.15: Deformace sítě při tažení[2]

3.4.1 Stanovení velikosti a tvaru přístříhu [1], [7]

U nerotačních nádob např. čtyřhranných je výtažek nejvíce deformován v rozích, a proto je potřeba tvar výstřižku upravit. Postup určování velikosti a rozměru přístříhu je stejný jako u válcových výtažků a vychází z rovnosti objemu přístříhu a výtažku.

1. Stanovení přibližného tvaru přístřihu pro tažení obdélníkového výtažku (viz odborná literatura) – grafická metoda

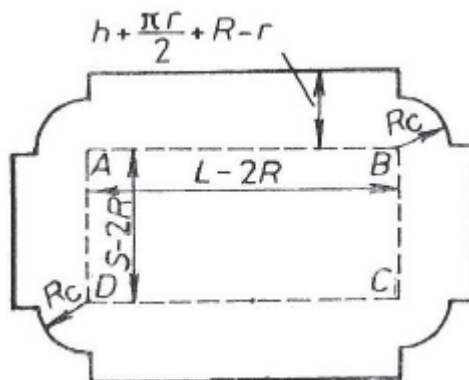
Celkovou plochu přístřihu lze stanovit pomocí poloměru kruhového přístřihu R_c potřebného pro tažení teoretického válcového výtažku vytvořeného po odstříhnutí rohů výtažku obdélníkového.

$$R_c = \sqrt{2 \cdot R \cdot h + R^2 + 1,14 \cdot R \cdot r} \quad [\text{mm}] \quad (29)$$

Plochá část dna představuje obdelník (na obrázku je čárkovaně). Prodloužením stran o hodnotu:

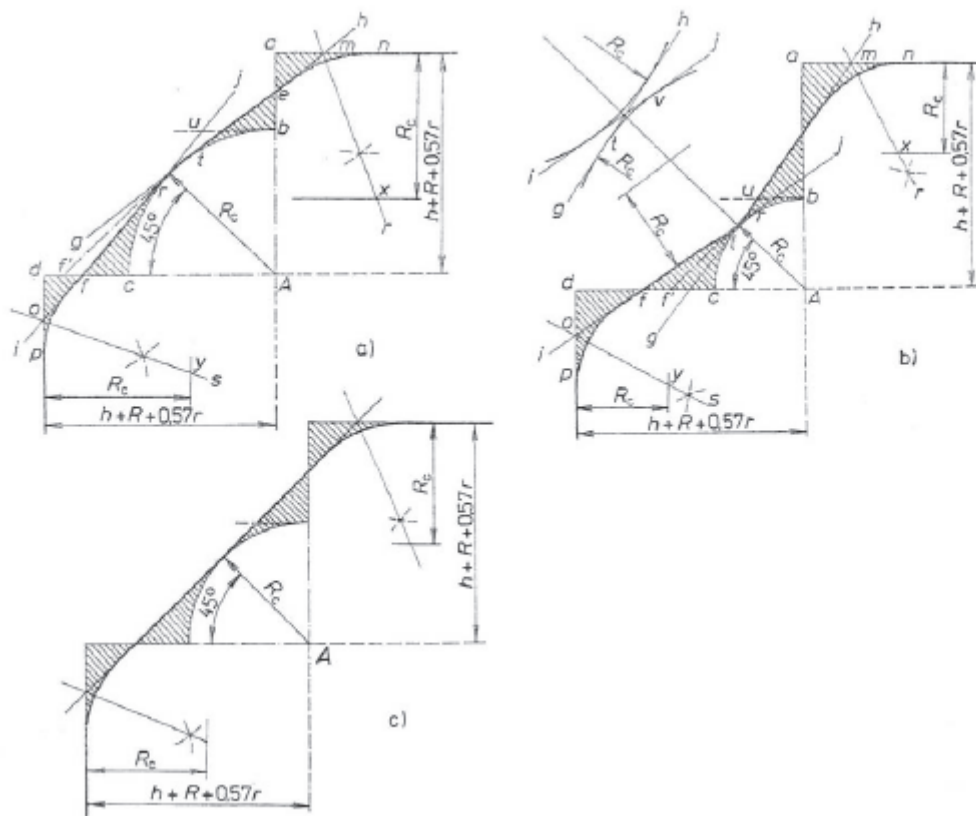
$$h + \frac{\pi \cdot r}{2} + R - r \cong h + R + 0,57 \cdot r \quad [\text{mm}] \quad (30)$$

obdržíme tvar přístřihu pro obdélníkový výtažek bez rohových částí. Z bodů A až D je opsána čvrtkružnici o poloměru R_c . Tím je získán teoretický tvar přístřihu se správným množstvím kovu pro tažení výtažku.



Obr.16: Teoretický tvar přístřihu s postačujícím množstvím materiálu pro tažení obdélníkového výtažku [1]

Teoretický tvar přístřihu však nelze použít, protože materiál uniká do stěn (nedostatek materiálu v rozích). Z tohoto důvodu se přechody zaoblí poloměrem dle obr.16. Pak mohou vzniknout tři základní tvary rohů přístřihů, podle vzájemného poměru R , r , h .



Obr.17: Konstrukce tvaru rohu přístřihu: a) tvar vypouklý, b) tvar vydutý, c) tvar rovný[1]

2. Metoda cvičných pokusů

V praxi se lze setkat s postupem, kdy se provede uvedený výpočet předběžné velikosti plochy výtažku a pak se na lisu provede několik cvičných pokusů. Z těchto výsledků je následně posuzováno, kde je třeba přidat či ubrat materiál. Posuzuje se i šířka příruby, aby nedocházelo ke zvlnění výtažku. Tento způsob ovšem vyžaduje značné zkušenosti a je poněkud nepřesný a časově náročný.

3. Stanovení velikosti a tvaru přístřihu dle ČSN 227303

a) Vypočte se poloměr přístřihu myšlené válcové nádoby vložené do rohů výtažků.

Za podmínky $r_r > r_d$

$$r_0 = \sqrt{0,25 \cdot d_r^2 + d_r \cdot (h_d + 0,57 \cdot r_d)} - 0,14 \cdot r_d^2 \quad [\text{mm}] \quad (31)$$

Za podmínky $r < \frac{r_r}{10}$, lze uvažovat $r_d = 0 \rightarrow h_d = h$

$$r_0 = \sqrt{0,25 \cdot d_r^2 + d_r \cdot h} \quad [\text{mm}] \quad (32)$$

b) Rozvinutá délka stěny výtažku

$$h_s = 0,57 \cdot r_d + h_d + 0,5 \cdot d_r \quad [\text{mm}] \quad (33)$$

c) Redukovaný poloměr přístřihu R_0 (vyjadřuje přemístování materiálu v podélných stěnách)

$$R_0 = x \cdot r_0 \quad [\text{mm}] \quad (34)$$

$$\text{kde } x = 0,074 \cdot \left(\frac{r_0}{d_r} \right)^2 + 0,982 \quad [-]$$

d) Zmenšení rozvinuté výšky stran a, b

$$h_{sa} = y \cdot \frac{r_0^2}{a_{rd}} \quad [\text{mm}] \quad (35)$$

$$h_{sb} = y \cdot \frac{r_0^2}{b_{rd}} \quad [\text{mm}]$$

$$\text{kde } y = \frac{\pi}{4} \cdot (x^2 - 1) \quad [-]$$

3.4.2 Součinitel tažení a počet tažných operací [1], [6]

Počet tažných operací u nerotačních výtažků je velice obtížné stanovit. Rozhodování ovlivňuje velké množství veličin, které na počet mají vliv:

- velikost zaoblení v rozích
- velikost výtažku
- tloušťka a druh taženého materiálu
- velikost zaoblení u dna výtažku
- tvar přístřihu
- tažná rychlost
- mazání a upnutí nástroje na lisu

Největší vliv na počet tažných operací má velikost zaoblení v rozích R, na níž je přímo závislá výška výtažku, kterou lze v prvním tahu dosáhnout (viz tab.5). Pro stanovení počtu tažných operací lze použít např. Romanovského diagram, nebo diagram podle mezního stupně tažení.

Při tažení nerotačních výtažků je materiál přesouván z rohů do stěn, které jsou v průběhu tváření pouze ohýbány.

Tab. 5. Výšky nerotačních výtažků v závislosti na zaoblení výtažku v rozích [1]

Velikost zaoblení R [mm]	Maximální výška výtažku [mm]
do 5	8R
přes 5 do 10	7R
přes 10 do 13	6R
přes 13 do 19	5R
přes 19	4R

Při tažení bez přidržovače je dosažitelná výška výtažku mnohem nižší. Poloměr zaoblení dna volíme, co možná nejmenší (asi dvojnásobek tloušťky materiálu), jelikož se s rostoucí velikostí zaoblení zvyšuje riziko zvlnění materiálu.

Pokud nelze výtažek zhotovit na jeden tah, volí se velikost redukce v jednotlivých tazích přibližně stejná. Redukci lze vyjádřit velikostí zaoblení rohu:

Ocel..... $R_n = 0,4 \cdot R_{n-1}$ nebo $R_{n-1} = 2,5 \cdot R_n$

Měď a slitiny... $R_n = 0,35 \cdot R_{n-1}$ nebo $R_{n-1} = 2,86 \cdot R_n$

Jsou-li rozdíly redukcí velké je nutné použít při tažení přidržovač, který zabrání vzniku zvlnění. Tažení nerotačních výtažků se provádí převážně s přidržovačem.

Součinitel tažení:

1) *pro souměrné pravoúhlé výtažky* m – je obdobou součinitele tažení válcových výtažků, vychází z rohové části a je dán poměrem:

$$m = \frac{r_1}{R_0} \quad [-] \quad (36)$$

r_1poloměr zaoblení výtažku [mm]

R_0redukovaný poloměr přístřihu [mm]

Norma uvádí hodnoty součinitelů tažení přístřihů z ocelového hlubokotažného plechu:

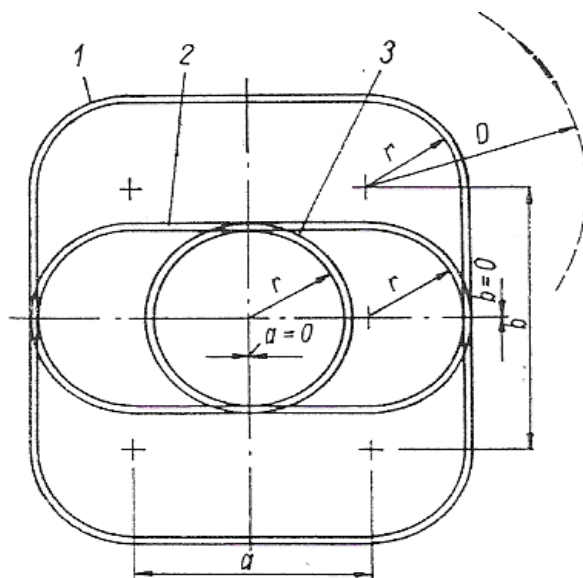
bez přidržovače $m_1 = 0,75 \div 0,90$

s přidržovačem $m_1 = 0,25 \div 0,40$

2) *pro nepravidelné výtažky*

a) Stanovení součinitele tažení pro první tah

Tažení hranatých nádob je v první operaci podobné jako při tažení nádob válcových, což je patrné na obr. 18.



Obr.18: Schéma pro porovnání tažení kruhové a nekruhové nádoby [2]

1 – čtvercová nádoba $a = b$, 2 – oválná nádoba $b = 0$, 3 – válcová nádoba $a = b = 0$

Na obr. 18 jsou nakresleny tři půdorysy nádob: čtvercové, oválové a válcové, které mají stejný poloměr zaoblení r . V případě, že $b=0$, čtvercová nádoba přechází v oválnou, a při $b = a = 0$ se mění na válcovou. Díky tomuto lze mezi nimi hledat podobnost při stanovení součinitele tažení. U nádob s rohy dochází nejen k ohýbání, ale i ke složitější deformaci.

Přítomnost rovných stěn u hranatých výtažků přispívá ke zlepšení podmínek tažení a snižuje se tak deformace v rozích v porovnání s válcovými nádobami se stejným zaoblením. To je způsobeno přechodem části deformace z rohu do rovných stěn, tím se snižuje tečné napětí a náchylnost k zvlnění. Proto se může první tah provést s menším součinitelem tažení než u válcových nádob o stejném poloměru zaoblení. Možnost přemísťování materiálu do bočních stěn ovlivní celkovou deformaci výtažku a snižuje součinitel tažení hranatých nádob na hodnotu $M_1 = (0,28-0,3)$ i méně. U tvárných materiálů lze zvolit kritický součinitel pro první tah:

$$M_{kr} = \frac{d}{D} = 0,2 \quad [-] \quad (37)$$

Ze vzorce se stanoví průměr polotovaru D , který je nutný k zhotovení nádoby o žádané výšce:

$$D = \frac{d}{M_{kr}} = \frac{2r}{0,2} = 10r \quad [\text{mm}] \quad (38)$$

Ze vztahů je patrné, že kritický součinitel je použitelný jen v případě, že stěny a nebo b mají délku rovnou nebo větší než $10r$. Při nižších délkách a , b musí být M_1 větší a v závislosti na velikosti stěn tvoří aritmetickou řadu. Součinitel tažení čtvercové nádoby, kdy $a = b$ se mění v závislosti na poloměru r a rovné stěně a . Součinitel tažení obdélníkových nádob je střední hodnotou mezi součinitelem tažení čtvercové nádoby. Označíme-li součinitel tažení obdélníkové nádoby M_0 a součinitel tažení čtverhranné nádoby o rovné straně a - M_a a o straně b - M_b pak dostaneme vztah:

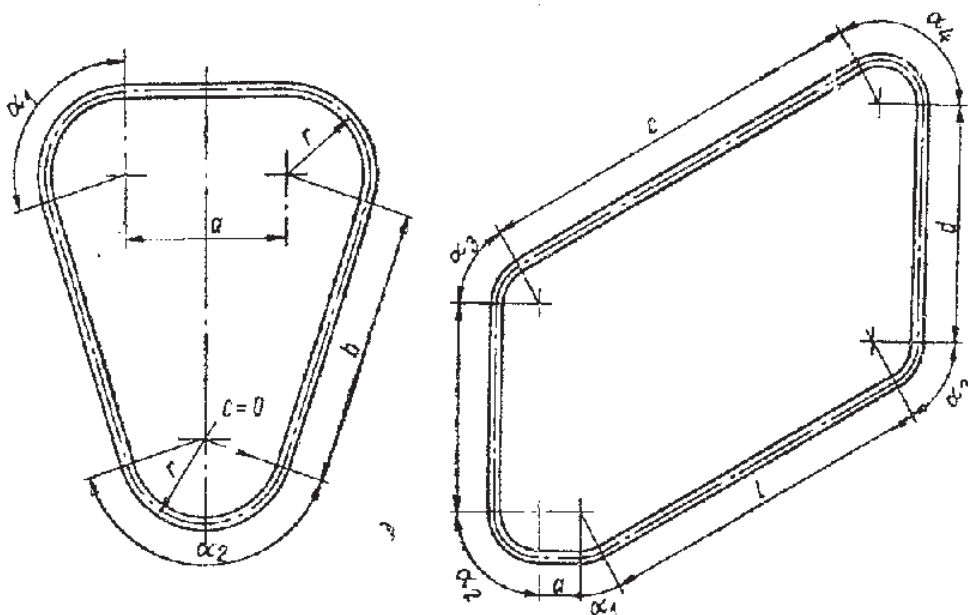
$$M_0 = \frac{M_a + M_b}{2} \quad [-] \quad (39)$$

Pro určení součinitelů M_a a M_b lze použít následující tabulku:

Tab.6: Hodnoty součinitelů tažení M_1 pro tažení čtvercových nádob [2]

Délka a	Poměrná tloušťka $\frac{t}{D} * 100$ [%]					
	0,1 až 0,3	0,3 až 0,6	0,6 až 1,0	1,0 až 1,5	1,5 až 2,0	nad 2,0
0	0,6	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50
r	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48
$2r$	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
$3r$	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
$4r$	0,50	0,48	0,46	0,47	0,42	0,40
$5r$	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38
$6r$	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
$7r$	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33
$8r$	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31
$9r$	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28
$10r$	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26

Zvláště důležité je určení součinitele tažení u výtažků, jejichž rovné stěny nejsou vzájemně kolmé (viz. obr.19). V tomto případě velikost deformace nelze určit jedním součinitelem tažení. Každý úhel vyžaduje jiný stupeň deformace, a proto je mu přiřazena příslušná hodnota součinitele tažení.



Obr.16:Schéma výtažku s rovnými stěnami, které nesvírají pravé úhly[2]

Velikost součinitele je přímo úměrná velikosti úhlu α a nepřímo úměrná délkám rovných stěn výtažku a , b , c . Mezní hodnoty odpovídají úhlu $\alpha = 0^\circ$ a $\alpha = 360^\circ$. Minimální součinitel tažení je při úhlu $\alpha = 0^\circ$. Úhel $\alpha = 360^\circ$ se objevuje při tažení válcových nádob, součinitel tažení má maximální hodnotu. V praxi se nejčastěji využívají úhly $\alpha = 180^\circ$ až 0° . Součinitel tažení se stanoví v závislosti na rovných stěnách výtažku ležících u příslušného úhlu. Pro úhel $\alpha = 180^\circ$ se stanoví dle tab.7. Pokud jsou stěny výtažku příslušící uvažovanému úhlu stejné, bere se hodnota z tabulky přímo. Při rozdílných délkách stran se stanoví součinitel tažení jako střední hodnota mezi součinitelem tažení dvou oválů, u nichž rovné části jsou rovny stranám přilehlým k uvažovanému úhlu.

$$M_{180^\circ} = \frac{M_A + M_B}{2} \quad [-] \quad (40)$$

Kde M_{180° je součinitel pro $\alpha=180^\circ$ s přiléhajícími k němu stranami a a b , M_A - součinitel tažení pro ovál o přímé straně a , M_B - součinitel tažení pro ovál o přímé straně b . Hodnoty součinitelů tažení pro nádoby s různými úhly o různých délkách rovinných částí a , b jsou uvedeny v tabulce:

Tab.7: Nejdůležitější poměrné tloušťky materiálu t/D . [2]

Délky a , b , c ...		Úhel rohu nádoby α [°]												
menší délka	větší délka	180	165	150	135	120	105	90	75	60	45	30	15	0
r	$(1-1,5) r$	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48
r	$2r$	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47
r	$3r$	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45
r	$5r$	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40
r	$8r$	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32
r	$10r$	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	0,43	0,40	0,37	0,34	0,31	0,27	0,23
$2r$	$(2-3) r$	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38
$2r$	$4r$	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37
$2r$	$6r$	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38	0,36	0,33
$2r$	$10r$	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,26	0,22
$3r$	$6r$	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,37	0,35	0,35	0,32
$3r$	$9r$	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28	0,22

3r	10r	0,48	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,34	0,30	0,26	0,22	0,17
4r	(4-6) r	0,51	0,51	0,50	0,49	0,48	0,46	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32	0,28	0,24
4r	8r	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,26	0,22
4r	10r	0,48	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,35	0,32	0,28	0,23	0,18	0,13
5r	(5-5,5) r	0,49	0,49	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,36	0,33	0,29	0,24	0,19	0,14
5r	10r	0,48	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38	0,34	0,30	0,26	0,21	0,15	0,09
6r	10r	0,47	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,08
7r	10r	0,46	0,46	0,45	0,43	0,41	0,39	0,36	0,32	0,28	0,24	0,19	0,13	0,07
8r	10r	0,45	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,35	0,31	0,25	0,23	0,18	0,12	0,06
9r	10r	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,36	0,33	0,29	0,24	0,20	0,14	0,08	-
10r	10r	0,44	0,43	0,42	0,40	0,38	0,35	0,32	0,27	0,22	0,17	0,12	0,06	-

b) Stanovení součinitele tažení při víceoperačním tažení[2]

U hranatých výtažků bývá maximální počet tahů 3 až 4. Díky tomu lze použít jednu střední hodnotu součinitele tažení M_{st} pro všechny tahy rohů výtažku. Pro určení součinitele tažení rohu hranaté nádoby pro vícenásobné tažení se vychází z předpokladu, že poměr součinitelů prvních tahů hranatých nádob M_{h1} (pro roh výtažku o poloměru r) a pro válcové nádoby M_1 (o stejném poloměru) odpovídají poměrům součinitelů tažení při následujících tazích:

$$\frac{M_{h1}}{M_1} = \frac{M_{h2}}{M_2} = \frac{M_{h3}}{M_3} \quad [-] \quad (41)$$

Koeficienty pro další tahy pro tažení čtvercových nádob se mohou stanovit např. dle tab.8: nebo tak, že se určí střední hodnota mezi M_2 a M_3 :

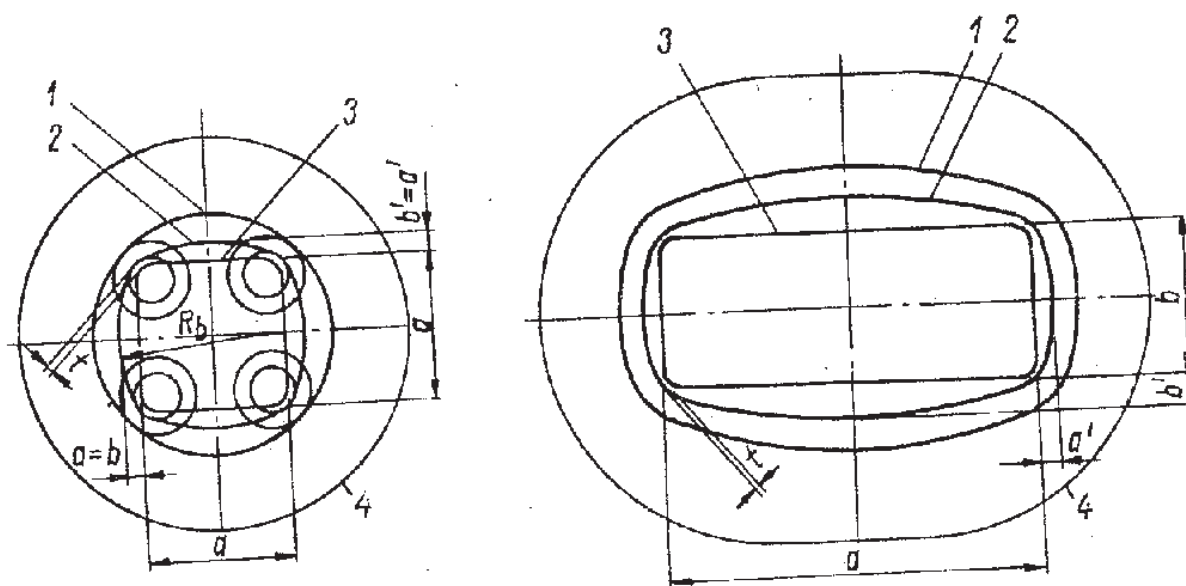
$$M_{st} = \frac{M_2 + M_3}{2} \quad [-] \quad (42)$$

Tab.8:Koeficienty tažení pro další tahy čtvercových nádob:[2]

Délka a	Poměrná tloušťka $\frac{t}{D} * 100 \quad [\%]$					
	0,1 až 0,3	0,3 až 0,6	0,6 až 1,0	1,0 až 1,5	1,5 až 2,0	nad 2,0
0	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77
r	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74
2r	0,73	0,75	0,74	0,72	0,71	0,70
3r	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,66
4r	0,69	0,68	0,67	0,65	0,64	0,63
5r	0,65	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59
6r	0,63	0,62	0,61	0,59	0,57	0,55
7r	0,60	0,59	0,58	0,55	0,54	0,51
8r	0,56	0,5	0,51	0,52	0,50	0,48
9r	0,53	0,52	0,51	0,48	0,47	0,45
10r	0,50	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41
v posledním tahu	0,88	0,87	0,85	0,85	0,84	0,83

3.4.3 Sestrojení přechodu při tažení symetrických hlubokých výtažků [2]

Při několikanásobném tažení čtvercových nádob se doporučuje nejprve vytáhnout válec a pak tento tvar dokončit na čtverec. U obdelníkové nádoby mají mezitahy tvar oválu.



Obr.17: Schéma konstrukce mezitahů při tažení kruhových nádob[2]

Konstrukce obrysů tahů vychází z posledního tahu. Ke kterému se ze středu poloměru zaoblí v rohu nádoby nakreslí kružnice D_1, D_2, \dots , odpovídající průměrům polotovaru potřebným k zhotovení nádoby o požadované výšce. Tyto průměry se stanoví na základě přípustných součinitelů tažení výtažku o příslušném průměru d_1, d_2, \dots . Obrisy odpovídající mezitahům se sestojí spojením příslušných průměrů d_1, d_2, \dots . Přitom je potřeba, aby předposlední tah se přibližoval svým tvarem tvaru konečného výtažku. Orientační poměry mezi základními parametry, které je třeba respektovat pro stanovení předposledního tahu, a velikosti poloměrů R_a i R_b jsou uvedeny v tab.9.

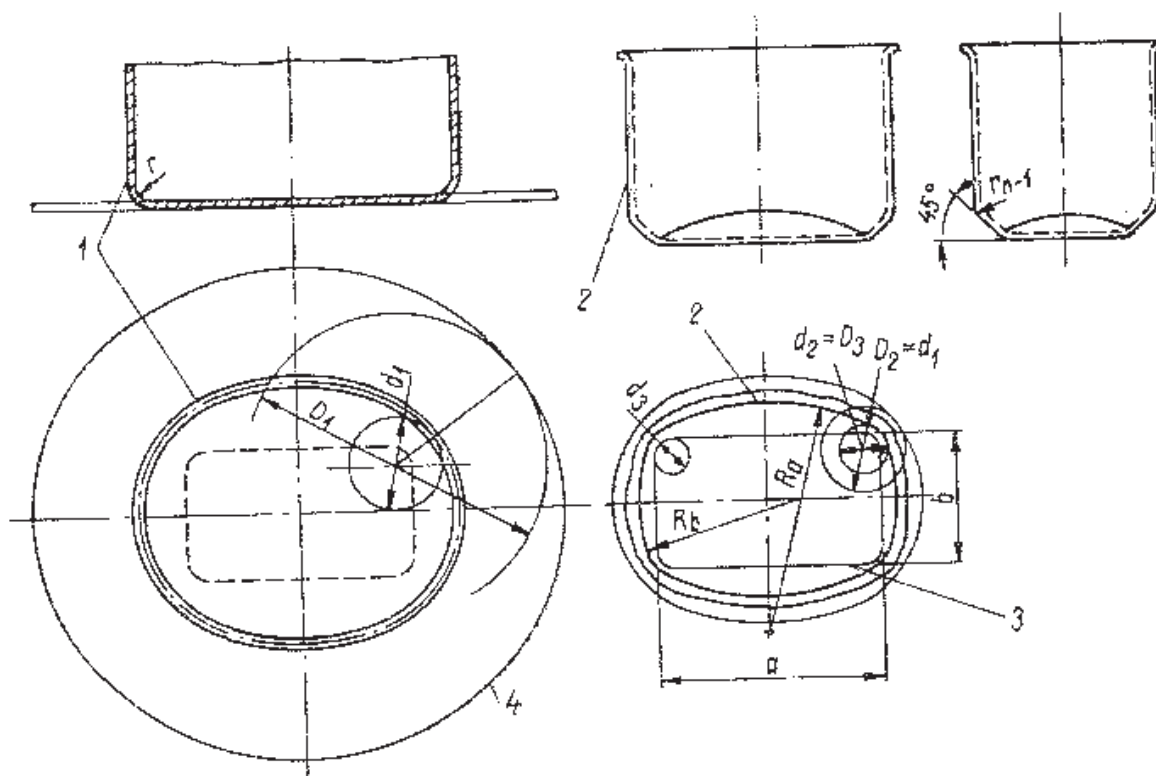
Tab.9: Orientační hodnoty k sestojení předposledního tahu u hlubokých čtvercových a obdélníkových nádob [2]

$\frac{a}{b}$	R_a	R_b	$a'[\%]$ z a	$b'[\%]$ z b
0,20 až 0,25	(1,6 až 1,8)a	0,60b	8	25
0,25 až 0,30	(1,5 až 1,6)a	0,60b	8 až 9	20
0,30 až 0,40	(1,4 až 1,5)a	0,65b	8 až 10	20
0,40 až 0,50	(1,2 až 1,3)a	0,75b	12 až 13	18
0,60 až 0,70	(1,0 až 1,1)a	0,80b	12 až 13	16
1,00	0,85a		14 až 15	14 až 15

Tloušťky stěn přidržovačů $t = 3$ až 40 mm v závislosti na velikosti výtažku a materiálu přidržovače (pro ocel $t = 3$ až 10 mm, pro litinu $t = 10$ mm).

Dno je třeba u všech tahů kromě předposledního zaoblit. Poloměr zaoblí r lze volit jako u válcových nádob. U předposledního tahu se doporučuje přechod stěny ve dno upravit pod úhlem 45° obr.18. Poloměr zaoblí r_{n-1} se stanoví podobně jako při tažení válcových nádob

$$r_{n-1} = 0,8 * \sqrt{((d_{n-1} - d_n) * s)}. \quad (43)$$



Obr.18: Schéma konstrukce trojnásobného tažení pravoúhlé nádoby[2]
 1, 2, 3 – tah, 4 – výstřížek, D_1, D_2, D_3 – průměry polotovarů v rozích, d_1, d_2, d_3 – průměry
 výtažků v rozích

Uvedená konstrukce tvaru značně usnadňuje vzájemné přizpůsobení přidržovače a tažnice. Rozměry rovných částí a a b (Obr.17:) odpovídají rozměrům konečného výtažku, tedy poslednímu třetímu tahu.

3.4.4 Tažná mezera, tažný poloměr [6]

Tažná mezera pro první tah se volí přibližně $1,1 \cdot t_0$. Větší mezera se také používá u posledního tažidla v rozích. Výtažek je v rozích pevnější, jelikož se méně zeslabí. Volí se různá tažná mezera v rozích a v podélných stěnách.

Tažná mezera v podélné stěně:

$$z_{m1} = z_{mn} = (1,15 \div 1,3) \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (44)$$

Tažná mezera v rozích:

$$z_{r1} = z_{rn} = (1,3 \div 1,4) \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (45)$$

Poloměry zaoblení tažných hran při tažení nerotačních výtažků jsou přibližně stejné jako u výtažků rotačních tj. 6 až 10 násobek tloušťky taženého materiálu. V prvních tazích je tažný poloměr tažnice největší, s dalšími tahy se snižuje. Obecně lze říci, že čím větší je poloměr, tím nižší je namáhání kovu a větší zvlnění přístřihu.

3.4.5 Velikost tažné síly, práce [6], [7]

Výpočet **maximální tažné síly** vychází z předpokladu, že v rozích výtažku dochází k tažení a v rovných stěnách k ohybu, pak lze použít následující vzorec:

$$F_{t \max} = t_0 \cdot R_m \cdot (2 \cdot \pi \cdot R \cdot C_1 + L \cdot C_2) \text{ [N]} \quad (46)$$

L...součet délek přímých částí stěn výtažku [mm]

R...poloměr zaoblení výtažku [mm]

C₁, C₂...konstanty závislé na provedení tažidla, mazání, druhu a kvalitě taženého plechu[-]

C₁ = 0,5 mělké výtažky

C₁ = 2 pro hlubší výtažky, H = (5 až 6)R

C₂ = 0,2 pro nulový přidržovací tlak

C₂ = 0,3 pro normální přidržovací tlak

Celková síla se skládá z těchto složek:

$$F_c = F_{tc1} + F_{p1} + F_{v1} \text{ [N]} \quad (47)$$

F_{tc1}...tažná síla [N]

F_{p1}...přidržovací síla [N]

F_{v1}...vyhazovací síla [N]

Tažná síla se vypočte stejně jako síla dle vzorce (46) a přičte se k ní síla potřebná na ohyb rovných stěn. Dále se přihlíží ke tření a součet je vynásoben opravným koeficientem:

$$F_{tc1} = k \cdot (F_t + F_0) \text{ [N]} \quad (48)$$

F_t...síla potřebná k vytažení dle vzorce (46) [N]

F₀...síla potřebná na ohyb rovných stěn [N]

$$F_0 = L \cdot t_0 \cdot \sigma_r \text{ [N]} \quad (49)$$

L...součet délek přímých částí stěn výtažku [mm]

σ_r...napětí vzniklé odporem ohýbaného materiálu [MPa]

$$\sigma_r = \frac{R_m}{2 \cdot \frac{r_{te}}{t_0} + 1} \text{ [MPa]} \quad (50)$$

r_{te}...poloměr zaoblení tažných hran nástroje [mm]

Síla přidržovače se vypočte stejně jako dle vzorce (23):

$$F_p = S_c \cdot p_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot p_p \text{ [N]} \quad (51)$$

S_c...činná plocha pod přidržovačem [mm²]

P_p...měrný přidržovací tlak [MPa]

Tažná práce se vypočte stejně jako dle vzorce (19):

$$A_t = \frac{C \cdot F_c \cdot h}{1000} \text{ [J]} \quad (52)$$

F_c...největší potřebná síla [N]

h...hloubka výtažku (pracovní zdvih) [mm]

C...koeficient charakterizující poměr mezi plochou diagramu (F_{max} . h) a skutečným průběhem (bez kalibrace dna C=0,66, s kalibrací dna C=0,8)

3.5 Technologičnost konstrukce a tvaru výtažku [3]

Technologičnost konstrukce výtažku se rozumí zhotovení součástí, co nejjednodušším a nejhospodárnějším způsobem výroby při dané sériovosti. Cílem je dosažení, co nejnižších výrobních nákladů za danou výrobní dobu, ale za předpokladu dodržení technických a provozních požadavků kladených na výtažek. Mezi kritéria technologičnosti patří např. množství strojů nutných k výrobě, spotřeba materiálu, složitost výrobního procesu (počet operací) aj.

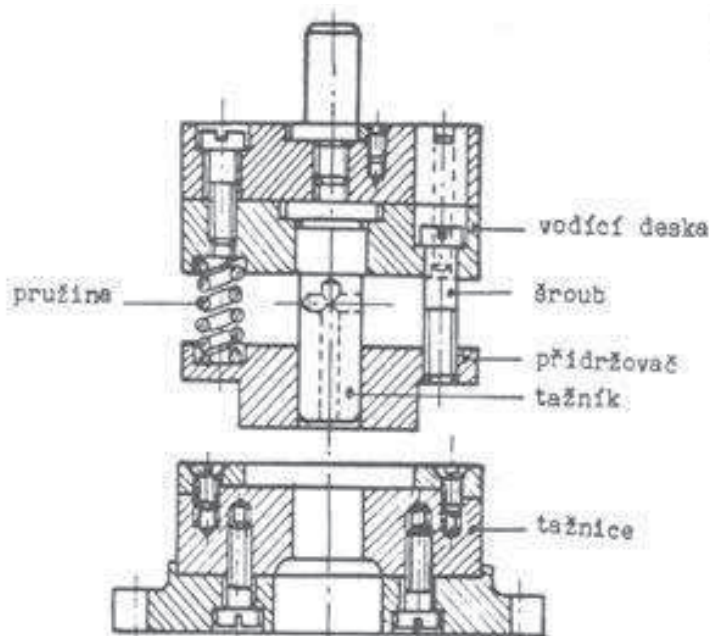
Rozměrová přesnost výtažku je omezena některými nedokonalostmi, mezi které patří:

- měnící se tloušťka stěny: v přechodu dna do pláště je nejmenší, na horním okraji výtažku největší, při vysokých stupních přetvoření mohou být rozdíly tloušťky 20 až 30 %
- okraj výtažku bývá z pravidla nerovný, často je nutné jeho odstřížení
- na okraji výstřižku je zpravidla největší zpevnění materiálu

Uvedené nedostatky lze omezit jemnějším stupňováním tahů nebo kalibrováním. Tyto opatření zpravidla vedou k nutnosti použít dražší nástroj nebo přidat další operace.

3.6 Nástroje pro tažení [1], [2], [5], [6], [10], [16]

Hlavní funkční části nástroje jsou tažník a tažnice, resp. přidržovač, který zabraňuje zvlnění plechu při tažení.

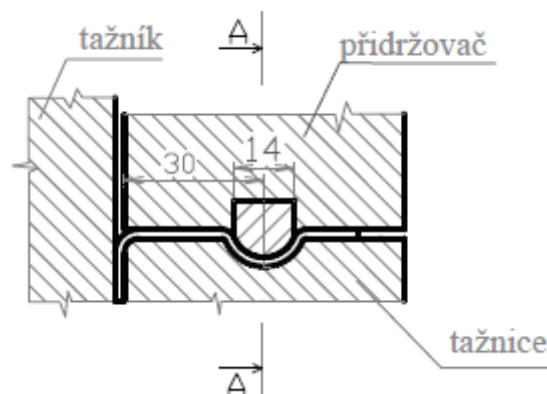


Obr.19: Tažný nástroj [6]

V současné době se při konstrukci tažných nástrojů používá plechových výlisků. Ne už pouze jako krycích dílů, ale jako samostatných konstrukčních prvků, schopných přenášet značná namáhání vyznačujících se vysokou tuhostí při nepatrné vlastní hmotnosti. Tyto díly se táhnou na karosářských vícebodových lisech se značnou rezervou sil, čímž odpadá nutnost kontroly tvářecích sil.

Brzdící žebra

Brzdící žebro představuje výstupek umístěný na přidržovači (nebo na tažnici), který usměrňuje tok materiálu. Použitím těchto žebër lze snížit velikost přidržovací síly a snížit opotřebení nástroje. Použití brzdících žebër výrazně zamezuje vzniku vln. Pokud táhneme výtažek nerotačního tvaru nástrojem bez brzdícího žebra, je zásadní správné nastavení přidržovacího tlaku. Brzdící žebra nalézají své uplatnění především při tažení nepravidelných a velkých výtažků.

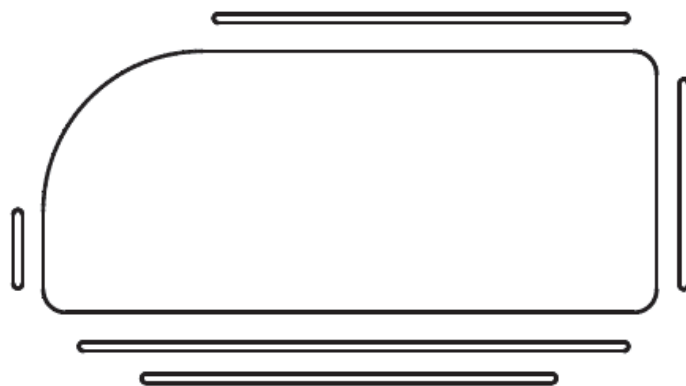


Obr.20: Umístění brzdícího žebra [2]

Brzdící žebra pracují dvěma způsoby:

- způsob vtahovací – materiál je tažen přes výstupek kolem tažné hrany tažnice, použití např. pro kruhové výtažky
- způsob brzdící – žebro není po celém obvodu, ale jen v rovných úsecích, pro velké nepravidelné výtažky

Brzdící lišty mohou být i v několika řadách, a to podle hloubky a složitosti výtažku.



Obr.21: Příklad rozmístění brzdících žebër[2]

Nástroje pro tažení lze kategorizovat z několika hledisek.

Druhy tažných nástrojů:

- Podle charakteru vykonávané operace
 - Pro první tah
 - Pro další tahy
- Podle počtu a druhu operací
 - Jednoduché
 - Postupové (pro dvě a více operací jdoucimi za sebou)

- Sloučené (více operací stejného druhu prováděných současně)
- Sdružené (více operací různého druhu)
- Podle druhu lisu, pro něž jsou nástroje určeny
 - Pro jednočinné lisy
 - Pro dvojčinné lisy
 - Pro trojčinné lisy
 - Pro postupové lisy
- Podle druhu a typu přidržovače
 - Bez přidržovače
 - S přidržovačem
 - S pružinovým
 - S pryžovým
 - S pneumatickým
 - S hydraulickým
 - Pro dvojčinné lisy

Materiály tažných nástrojů

Správné zvolení materiálu nástroje je zásadní pro funkčnost, životnost a spolehlivost tažného nástroje. Klíčovým požadavkem na nástroj je především vysoká odolnost proti opotřebení ovlivňující životnost nástroje. Mezi další důležité mechanické vlastnosti patří např. vysoká pevnost v tlaku a ohybu.

Vybrané druhy používaných materiálů:

- Nástrojové oceli – oceli třídy 19 vyznačující se dostatečnou tvrdostí a pevností.
Např.: 19 191, 19 436, 19 312, ...
- Šedé litiny – používají se pro základové části nástrojů.
Např.: 422421, 422424, 422425, ...
- Konstrukční oceli
 - obvyklých tříd 10 a 11 např.: 11 370, 11 375, 11 500, ...
 - ušlechtilé třídy 12 až 17 např.: 12 020, 12 060, 14 220, ...

Mazání při tažení

Mazání velice významně ovlivňuje celý technologický proces tažení. Díky němu lze snížit tření, čímž dochází ke snížení velikosti tažné síly. Výsledkem je nižší opotřebení nástroje a lepší kvalita povrchu výtazku. Při volbě maziva je nutné vycházet z několika předpokladů:

- mazivo by mělo být přílnavé, avšak i snadno odstranitelné po dokončení tažných operací
- mazivo musí vytvořit jemnou a celistvou vrstvu na nástroji, která snese vysoký tlak a teplotu, která při tváření může nastat

Materiály používané jako maziva:

- grafit – patří mezi tuhá maziva, která snesou náročné podmínky. Nevýhodou je obtížnější odstranění z finálního výtazku.
- lanolín a lůj
- hypoidní maziva – jsou směsi minerálních olejů se sloučeninami obsahující síru a chlór
- mýdlová maziva – mohou být tuhá, polotuhá nebo tekutá.

Vhodnost maziva závisí na druhu tažení a s tím na podmínkách, za jakých bude použito (velikost tvářecího tlaku, provozní teplota aj.), druh použitého materiálu, snadnost nanášení a odstraňování maziva.

4. Návrh technologie výroby součásti [4], [14], [15], [17], [18], [19]

Zadaná součást „jímací nádoba“ má netypický tvar, z čehož vyplývá její náročnější výroba. V rámci studia literatury lze nalézt již zpracované výrobní postupy pro součásti jednoduchých tvarů – rotační, čtvercové či obdélníkové. Při výrobě nerotačních součástí, kterou je zadaná, je nutné navrhnout takové technologické řešení výroby, která optimalizuje poměr nákladů a využití materiálu. Lze předpokládat, že existují výrobní postupy podobných součástí, ale nejsou většinou veřejně dostupné, protože byly vyvinuty konkrétními výrobci pro jejich výrobní program. Tyto postupy jsou součástí jejich know-how a představují v tržním prostředí konkurenční výhodu.

Nejjednodušším způsobem, kterým by bylo možné součást vyrobít je vystřížení požadovaného tvaru z plechu, ohýbat ho a následně svařit v rozích. Tento postup je vhodný pro menší série, ale u výroby 50 000ks za rok, jako v zadaném případě, by tento postup byl při dosažení požadované kvality značně časově náročný (z důvodu zaoblení) i ekonomicky nerentabilní.

Při volbě vlastního výrobního postupu zohledňuji teoretické znalosti dostupných technologií výroby získané studium literatury a podmínky zadání. Požadovaná součást má být vyráběna v sérii 50 000 kusů za rok. Zvolený materiál je dražší, tudíž by vybraná technologie měla dosáhnout, co možná největší využití materiálu – malá zmetkovitost, malý odpad. Jedinou možnou technologií, která by umožnila vyrobít součást v požadované kvalitě za ekonomicky přijatelných podmínek je tažení. Obecně lze vybrat způsoby konvečního (pevným nástrojem), nebo nekonvečního tažení (nepevným nástrojem).

Metodou Guerin (pracující na principu ohybu tvářeného materiálu) lze vyrábět pouze mělké výtažky, u hlubších výtažků hrozí vznik vrásek na finálním výrobku, proto tuto metodu nelze považovat za vhodnou. Metoda Marform je vhodná pro mělké i hlubší výtažky, ale při požadované sérii by mohlo docházet k rychlému opotřebení pryže, což by v našem případě znamenalo vyšší výrobní náklady. Metoda Hydroform je dle typu výtažku možná, ale její použití by představovalo značnou počáteční investici na pořízení dražšího lisovacího stroje. Metod Wheelon v sobě zahrnuje více negativních stránek. Je využitelná především pro výrobu mělkých součástí a zároveň vyšší náklady v podobě ceny pryžového vaku a stroje.

Jako nejvhodnější se jeví použití Hydromechanického tváření, které splňují zadané požadavky, jak z hlediska tvaru součásti, tak velikosti série i nákladů výroby. Alternativní vybranou technologií je tváření pevným nástrojem bez ztečení stěny.

V diplomové práci jsou zpracovány dvě varianty – na tváření pevným nástrojem a varianta na tváření hydromechanické.

4.1 Údaje o výtažku [18]

- Základní rozměry výtažku: 400 x 360 x 150 mm
- Výrobní množství: $Q = 50\,000$ ks/rok
- Materiál výtažku: Austenitická korozi-vzdorná ocel Cr – Ni, plech válcovaný za studena

Označení dle EN 10088 – 2, 1.4301, X5CrNi18-10

dle ČSN 41 7240, ocel 17 240
Rozměr tabule: 1,5 x 1000 x 2000 mm

Chemické složení materiálu [hm.%]:

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
max 0,7	max 2,00	max 1,00	17,0 ÷ 19,5	8,0 ÷ 11,0	max 0,045	max 0,030

Mechanické vlastnosti materiálu:

mez kluzu $R_e = 240$ MPa

mez pevnosti $R_m = 540 \div 750$ MPa, pro výpočet použito $R_m = 560$ MPa

tažnost $A_5 = 45\%$

modul pružnosti $E = 200$ GPa

Odolnost proti degradačním procesům:

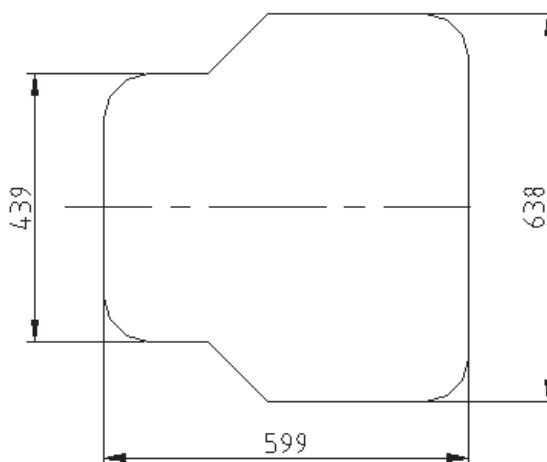
Odolnost proti plošné korozi – odolává kyselině dusičné, zředěné kyselině sírové i organickým kyselinám. Tvářením se odolnost povrchu snižuje, leštěním lze odolnost zvýšit.

Použití: tuto ocel lze použít v potravinářském, farmaceutickém, chemickém průmyslu, ale také použít v lékařství pro výrobu chirurgických a zubolékařských nástrojů (mimo řezných)

4.2 Výpočet velikosti a tvaru přístřihu

Metodika určování velikosti a tvaru přístřihu je popsána v předešlé kapitole 3.4.1. Tvar zadané součásti je složitější (včetně příruby), a proto je nezbytné postup výpočtu vhodně upravit. Velikost přístřihu, lze stanovit několika metodami: plochu výtažku lze rozdělit na několik jednodušších geometrických tvarů, nebo lze velikost plochy určit pomocí programu (v práci je použit program Inventor 2011). Z důvodu přesnosti výpočtu jsem zvolil výpočet pomocí programu Inventor 2011, kde celková plocha výtažku je:

$$S_v = 272762,85 \text{ mm}^2$$



Obr. 22 Tvar přesného přístřihu

Velikost a tvar přístřihu dle normy ČSN 22 7303

$$h_1 = 150 \text{ mm} \quad h_{d1} = 110 \text{ mm}$$

$$h_2 = 70 \text{ mm} \quad h_{d2} = 30 \text{ mm}$$

$$r_d = 20 \text{ mm} \quad d_{d1} = 40 \text{ mm}$$

$$r_r = 20 \text{ mm} \quad d_{r2} = 40 \text{ mm}$$

Stanovení poloměru přístřihu v rozích r_0

$$r_{01} = \sqrt{0,25 \cdot d_r^2 + d_r \cdot (h_d + 0,57 \cdot r_d) - 0,14 \cdot r_d^2} = \sqrt{0,25 \cdot 40^2 + 40 \cdot (110 + 0,57 \cdot 20) - 0,14 \cdot 20^2} = 72,11 = 72 \text{ mm}$$

$$r_{02} = \sqrt{0,25 \cdot d_r^2 + d_r \cdot (h_d + 0,57 \cdot r_d) - 0,14 \cdot r_d^2} = \sqrt{0,25 \cdot 40^2 + 40 \cdot (30 + 0,57 \cdot 20) - 0,14 \cdot 20^2} = 44,72 = 45 \text{ mm}$$

Stanovení rozvinuté délky stěny výtažku

$$h_{s1} = 0,57 \cdot r_d + h_d + 0,5 \cdot d_r = 0,57 \cdot 20 + 110 + 0,5 \cdot 40 = 141,4 = 141 \text{ mm}$$

$$h_{s2} = 0,57 \cdot r_d + h_d + 0,5 \cdot d_r = 0,57 \cdot 20 + 30 + 0,5 \cdot 40 = 61,4 = 61 \text{ mm}$$

Stanovení redukovaného poloměru přístřihu

$$R_{01} = x_1 \cdot r_{01} = 1,222 \cdot 72 = 87,984 = 88 \text{ mm}$$

$$x_1 = 0,074 \cdot \left(\frac{r_{01}}{d_r} \right)^2 + 0,982 = 0,074 \cdot \left(\frac{72}{40} \right)^2 + 0,982 = 1,222$$

$$R_{02} = x_2 \cdot r_{02} = 1,076 \cdot 45 = 48,42 = 48,5 \text{ mm}$$

$$x_2 = 0,074 \cdot \left(\frac{r_{02}}{d_r} \right)^2 + 0,982 = 0,074 \cdot \left(\frac{45}{40} \right)^2 + 0,982 = 1,076$$

Zmenšení rozvinuté výšky

$$y_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (x_1^2 - 1) = \frac{\pi}{4} \cdot (1,222^2 - 1) = 0,3874$$

$$h_{sa1} = y_1 \cdot \frac{r_{01}^2}{a_{rd1}} = 0,3874 \cdot \frac{72^2}{80} = 25,103 = 25 \text{ mm}$$

$$h_{sb1} = y_1 \cdot \frac{r_{01}^2}{b_{rd1}} = 0,3874 \cdot \frac{72^2}{300} = 6,687 = 7 \text{ mm}$$

$$y_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (x_2^2 - 1) = \frac{\pi}{4} \cdot (1,076^2 - 1) = 0,061$$

$$h_{sa2} = y_2 \cdot \frac{r_{02}^2}{a_{rd2}} = 0,061 \cdot \frac{45^2}{120} = 1,029 = 1 \text{ mm}$$

$$h_{sb2} = y_2 \cdot \frac{r_{02}^2}{b_{rd2}} = 0,061 \cdot \frac{45^2}{300} = 0,411 = 1 \text{ mm}$$

Plocha přístřihu byla graficky určena v programu AutoCad 2008. Při určení plochy přístřihu byl uvažován přídavek na odstřižení. Srovnání plochy výtažku a plochy přístřihu:

Plocha přístřihu	Plocha výtažku	Rozdíl
[mm ²]	[mm ²]	[%]
287150,72	272762,85	5

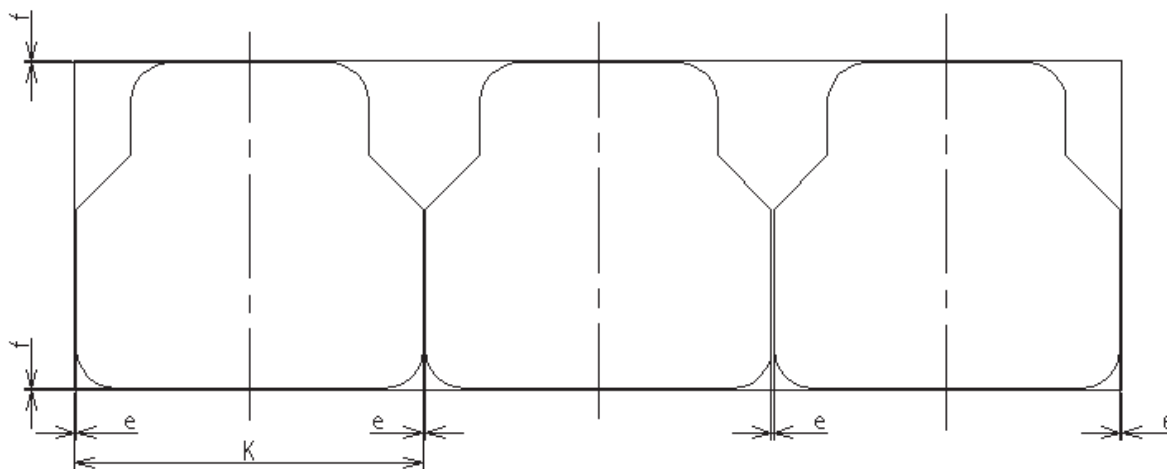
4.3 Nástřihový plán [22]

Nástřihový plán určuje uspořádání výstřižku na tabuli plechu. Zároveň slouží k nalezení nejvhodnějšího uspořádání výstřižků na tabuli plechu tak, aby byl odpad minimální. Z tabule plechu jsou nástřihány pásy, z nichž se následně nástřihají výstřižky. Šířku mezery mezi jednotlivými výstřižky a mezera mezi výstřižkem a okrajem plechu lze určit pomocí tabulek v odborné literatuře, nebo nomogramem.

Tabule plechu o rozměrech 2000 x 1000 mm, tloušťka 1,5 mm

Velikost můstku a okraje: $e = 4 \text{ mm}$, $f = 4,5 \text{ mm}$

Rozměry přístřihu: $l_{v1} = 599 \text{ mm}$, $l_{v2} = 638 \text{ mm}$



Obr.23 Uspořádání výstřižku na tabuli plechu

Uspořádání výstřižku na tabuli plechu:

Varianta 1

Z tabule lze vystřihnout 3 výstřižky

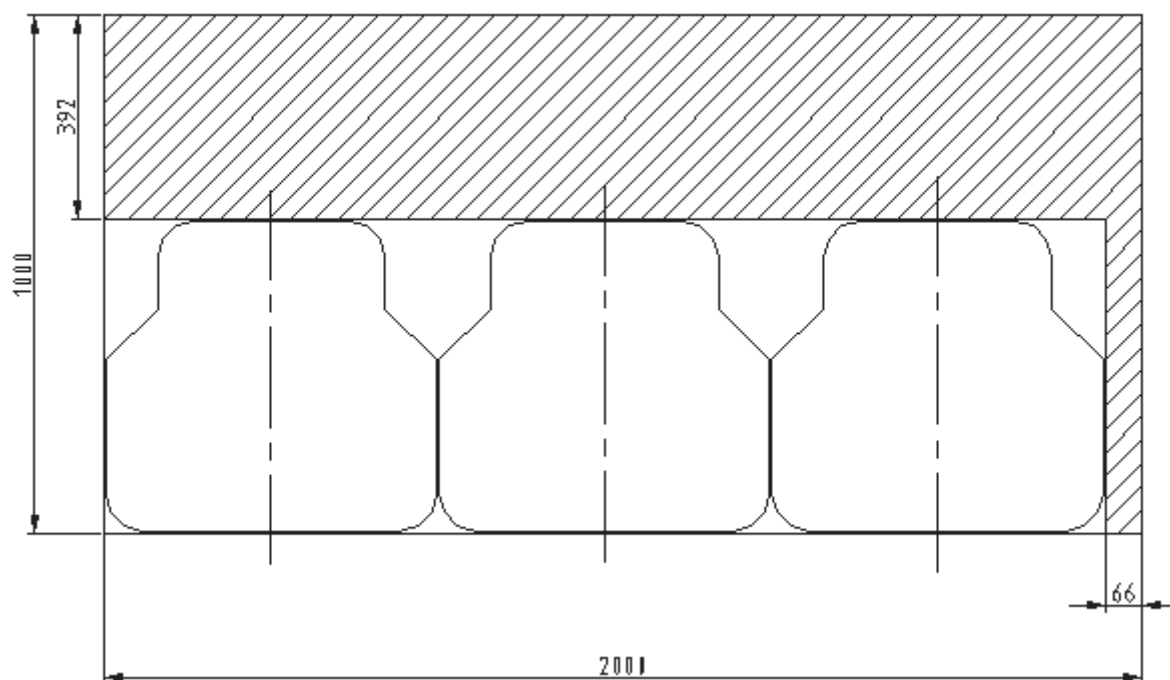
Krok pro stříhání: $K_1 = l_{v2} + e = 638 + 4 = 642 \text{ mm}$

Šířka pásu: $\check{s} = l_{v1} + 2 \cdot f = 599 + 9 = 608 \text{ mm}$

Odpad z tabule plechu:

$1000 - (f + l_{v1} + f) = 1000 - (4,5 + 599 + 4,5) = 392 \text{ mm}$

$2000 - (e + l_{v2} + e + l_{v2} + e + l_{v2} + e) = 2000 - (4 + 638 + 4 + 638 + 4 + 638 + 4) = 66 \text{ mm}$



Obr.24: Uspořádání výstřižku na tabuli plechu – varianta 1

Varianta 2

Z tabule lze vystříhnout 3 výstřižky

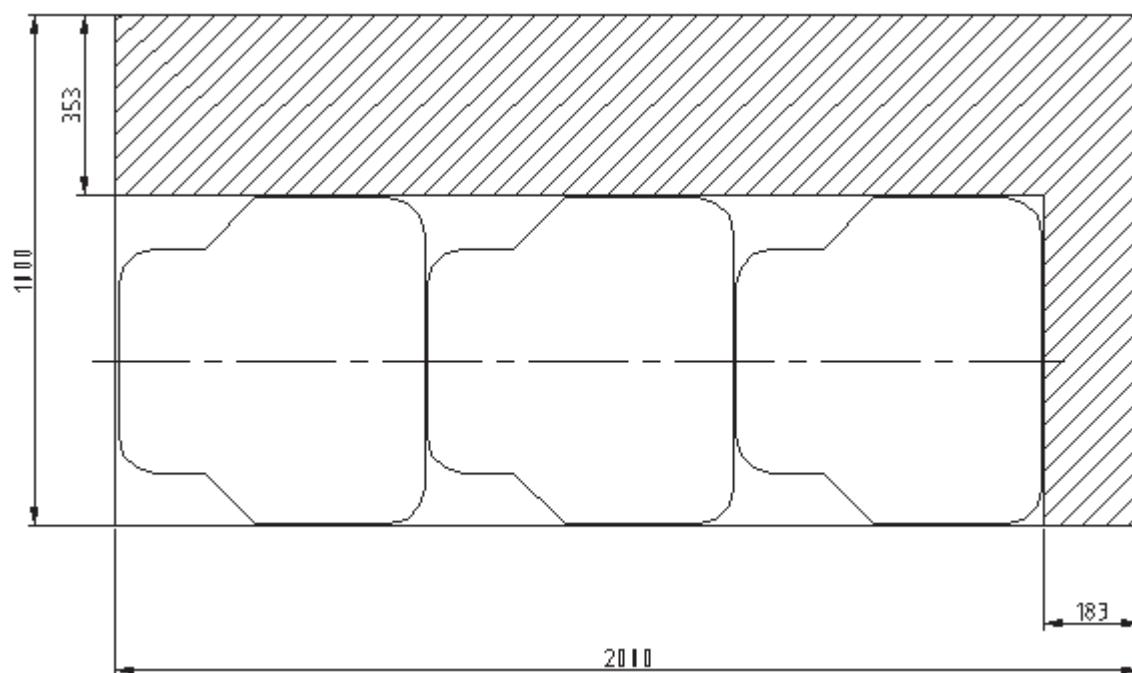
Krok pro stříhání: $K_2 = l_{v1} + e = 599 + 4 = 603 \text{ mm}$

Šířka pásu: $\check{s} = l_{v2} + 2 \cdot f = 638 + 9 = 647 \text{ mm}$

Odpad z tabule plechu:

$1000 - (f + l_{v2} + f) = 1000 - (4,5 + 638 + 4,5) = 353 \text{ mm}$

$2000 - (e + l_{v1} + e + l_{v1} + e + l_{v1} + e) = 2000 - (4 + 599 + 4 + 599 + 4 + 599 + 4) = 183 \text{ mm}$



Obr.25 Uspořádání výstřižku na tabuli plechu – varianta 2

Ze znázorněných variant se jeví vhodnější první varianta. Důvodem je širší pás odpadového plechu. Tento pás lze uplatnit pro vystřížení jiné součásti, což je vzhledem k cenně materiálu ekonomicky výhodné.

4.4 Ekonomické využití tabule plechu:

Rozměry tabule plechu: 2000 x 1000 mm

Tloušťka tabule plechu: 1,5 mm

Velikost můstku a okraje: $e = 4$ mm, $f = 4,5$ mm

Rozměry přístřihu: $l_{v1} = 599$ mm, $l_{v2} = 638$ mm

Počet výstřížků z tabule: $p_{vys} = 3$ ks

Plocha výstřížku: $S_{vys} = 287150,72$ mm²

Plocha tabule plechu: $S_t = 1000 \cdot 2000 = 2\,000\,000$ mm² = 2 m²

Plocha všech výstřížků: $S_{cvys} = S_{vys} \cdot p_{vys} = 287150,72 \cdot 3 = 861452,16$ mm² = 0,86 m²

Využití materiálu: $m_v = \frac{S_{cvys}}{S_t} \cdot 100 = \frac{0,86}{2} \cdot 100 = 43\%$

Celková spotřeba tabulí plechů: $P_t = \frac{Q}{p_{vys}} = \frac{50000}{3} = 16\,666,6 = 16\,667$ ks

4.5 Vystřížení přístřihu a ostřížení příruby [22]

- přesný tvar přístřihu se bude vzhledem k zadané sérii stříhat z pásu plechu

Střížná síla

$F_{s1} = O_1 \cdot t_0 \cdot \tau_{ps} \cdot k = 1358,14 \cdot 1,5 \cdot 423,6 \cdot 1,4 = 1232165,13$ N = 1232,16 kN

$\tau_{ps} = 110 + 0,56 \cdot R_m = 110 + 0,56 \cdot 560 = 423,4$ MPa

$k = (1,2 \div 1,5)$ volím

1,4

obvod přístřihu: $O_1 = 1358,14$ mm (určeno pomocí programu AutoCad 2008)

Ostřížení příruby

Střížná síla

$F_{s2} = O_2 \cdot t_0 \cdot \tau_{ps} \cdot k = 1531,33 \cdot 1,5 \cdot 423,6 \cdot 1,3 = 1264909,2$ N = 1264,9 kN

$k = (1,2 \div 1,5)$ volím 1,3

obvod přístřihu: $O_2 = 1531,33$ mm (určeno pomocí programu AutoCad 2008)

k.....koeficient otupění

S přihlédnutím k velikosti střížných sil lze určit vhodný lis.

4.6 Varianty řešení tažení [14]

I. Varianta tažení pevným nástrojem

V rámci této varianty bude zadaný výtažek tažen na 2 tažné operace, což vyplývá ze zadání, kdy požadovaná součást má dvě hloubky 70 mm a 80 mm. Potvrzení tohoto předpokladu vychází z diagramu pro mezní stupeň tažení čtyřhranných výtažků (viz. příloha).

- Stanovení počtu tažných operací

- pro I. tah:

$$\frac{r}{t} = \frac{20}{1,5} = 13,3$$

$$\frac{h}{r} = \frac{70}{20} = 3,5$$

- pro II. tah:

$$\frac{r}{t} = \frac{20}{1,5} = 13,3$$

$$\frac{h}{r} = \frac{80}{20} = 4$$

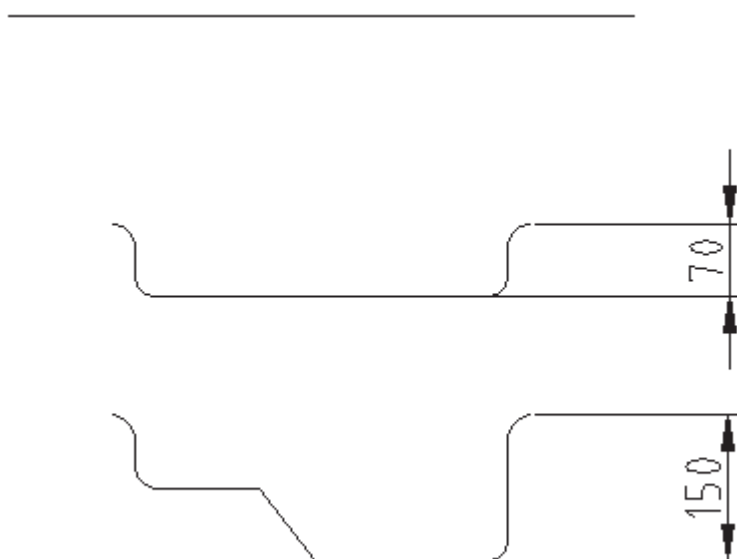
r...poloměr zaoblení rohu

t...tloušťka materiálu

h...tažená výška

V obou případech se nacházíme pod mezní křivkou v diagramu určující oblast tažení na jednu operaci.

V prvním tahu se bude táhnout hloubka 70 mm, v druhém tahu hloubka 80 mm.



Obr.26: Schéma tahu

Stanoveno za podmínek pro hlubokotažný ocelový plech:

$$B \geq 10 \cdot r \rightarrow 300 \geq 200 \text{ mm}$$

$$t = (0,4 \div 1,5) \text{ mm} \rightarrow t = 1,5 \text{ mm}$$

Podmínky jsou splněny.

Součinitel tažení čtvercových nádob: $m = \frac{2 \cdot R}{D_j}$

Porovnávací průměr: $D_j = 2 \cdot \sqrt{R^2 + 2 \cdot R \cdot H - 0,85 \cdot R_r - 0,14 \cdot r^2}$

výška $H = 70 \text{ mm}$ $D_j = 2 \cdot \sqrt{20^2 + 2 \cdot 20 \cdot 70 - 0,85 \cdot 20 - 0,14 \cdot 20^2} = 105,9 \text{ mm}$

výška $H = 80 \text{ mm}$ $D_j = 2 \cdot \sqrt{20^2 + 2 \cdot 20 \cdot 80 - 0,85 \cdot 20 - 0,14 \cdot 20^2} = 113,2 \text{ mm}$

$$m_1 = \frac{2 \cdot 20}{105,9} = 0,37$$

$$m_2 = \frac{2 \cdot 20}{113,2} = 0,35$$

$$m_{stř} = \frac{m_1 + m_2}{2} = \frac{0,37 + 0,35}{2} = 0,36$$

Součinitel tažení pro první tah se dle literatury volí v rozmezí $m_1 = 0,25 \div 0,4$.

- **Stanovení velikosti tažné mezery**

Velikost tažné mezery závisí především na tloušťce materiálu. Doporučená mezera je stanovena dle literatury: pro první tah asi $1,1 \cdot t_0$. Větší mezera se také používá u posledního tažidla v rozích. Výtažek je následně v rozích pevnější, jelikož se méně zeslabí. Volí se různá tažná mezera v rozích a v podélných stěnách.

a) Tažná mezera v podélné stěně:

$$tm_1 = tm_n = (1,15 \div 1,3) \cdot t_0 = (1,15 \div 1,3) \cdot 1,5 = (1,725 \div 1,95) \text{ mm} \quad \text{volím } 1,8 \text{ mm}$$

b) Tažná mezera v rozích:

$$tm_{r1} = tm_m = (1,3 \div 1,4) \cdot t_0 = (1,3 \div 1,4) \cdot 1,5 = (1,95 \div 2,1) \text{ mm} \quad \text{volím } 2 \text{ mm}$$

- **Stanovení poloměru zaoblení tažných hran**

Zaoblení tažných hran nástroje je stejně jako tažná mezera závislé na tloušťce taženého materiálu. Tloušťka materiálu $t_0 = 1,5 \text{ mm}$.

Poloměr zaoblení tažnice

$$r_t = (6 \div 10) \cdot t_0 = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ mm}$$

Výtažek má mít poloměr zaoblení u dna 20 mm, a proto je nutné zvolit poloměr zaoblení větší.

Poloměr zaoblení tažníku

$$r_p = (6 \div 10) \cdot t_0 = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ mm}$$

Stejně jako u zaoblení tažnice je nutno zvolit poloměr zaoblení 20 mm.

- Stanovení velikosti sil při tažení

1. Tah:

Tažná síla

$$C_1 = 2, \quad C_2 = 0,3$$

$$F_{t1} = t_0 \cdot R_m \cdot (2 \cdot \pi \cdot R \cdot C_1 + L_1 \cdot C_2) = 1,5 \cdot 560 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 2 + 1320 \cdot 0,3) = 543755,0263 \text{ N} = 543,8 \text{ kN}$$

Síla potřebná na ohyb rovných stěn

$$F_{01} = L_1 \cdot t_0 \cdot \sigma_r = 2 \cdot (360 + 320) \cdot 1,5 \cdot 20,24 = 40075,2 \text{ N}$$

$$F_{tc1} = k \cdot (F_{t1} + F_{01}) = 1,1 \cdot (543755,0263 + 40075,2) = 642213,25 \text{ N} = 642,2 \text{ kN}$$

k...volím 1,1

$$\sigma_r = \frac{R_m}{2 \cdot \frac{r_{te}}{t_0} + 1} = \frac{560}{2 \cdot \frac{20}{1,5} + 1} = 20,24 \text{ MPa}$$

Síla přidržovače

$$F_{p1} = S_{c1} \cdot p_p = 90525,83 \cdot 3 = 271577,49 \text{ N}$$

$$S_{c1} = 90525,83 \text{ mm}^2 \text{ určeno pomocí programu AutoCad}$$

Pro nerezové oceli je $p_p = 2 \div 5 \text{ MPa}$.

$$F_c = F_{tc1} + F_{p1} = 642213,25 + 271577,49 = 913790,74 \text{ N} = 913,79 \text{ kN}$$

Tažná práce

$$A_t = \frac{k \cdot F_c \cdot h}{1000} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 913790,74 \cdot 70}{1000} = 42642,57 \text{ J} = 42,64 \text{ kJ}$$

k.....opravný koeficient, $k = \frac{2}{3}$

2. Tah:

Tažná síla

$$C_1 = 2, \quad C_2 = 0,3$$

$$F_{t2} = t_0 \cdot R_m \cdot (2 \cdot \pi \cdot R \cdot C_1 + L_2 \cdot C_2) = 1,5 \cdot 560 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 2 + 1080 \cdot 0,3) = 483275,0263 \text{ N} = 483,3 \text{ kN}$$

Síla potřebná na ohyb rovných stěn

$$F_{02} = L_2 \cdot t_0 \cdot \sigma_r = 2 \cdot (240 + 300) \cdot 1,5 \cdot 20,24 = 32788,8 \text{ N}$$

$$F_{tc2} = k \cdot (F_{t2} + F_{02}) = 1,1 \cdot (483275,0263 + 32788,8) = 567670,2089 \text{ N} = 567,7 \text{ kN}$$

k...volím 1,1

$$\sigma_r = \frac{R_m}{2 \cdot \frac{r_{te}}{t_0} + 1} = \frac{560}{2 \cdot \frac{20}{1,5} + 1} = 20,24 \text{ MPa}$$

Síla přidržovače

$$F_{p2} = S_{c2} \cdot p_p = 77068,41 \cdot 3 = 231205,23 \text{ N}$$

$S_{c2} = 77068,41 \text{ mm}^2$ určeno pomocí programu AutoCad

Pro nerezové oceli je $p_p = 2 \div 5 \text{ MPa}$

$$F_c = F_{tc2} + F_{p2} = 483275,0263 + 231205,23 = 714480,25 \text{ N} = 714,48 \text{ kN}$$

Tažná práce

$$A_t = \frac{k \cdot F_c \cdot h}{1000} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 714480,25 \cdot 80}{1000} = 38105,61 \text{ J} = 38,1 \text{ kJ}$$

k.....opravný koeficient, $k = \frac{2}{3}$

II. Varianta Hydromechanické tažení [4], [17]

V této variantě je zvažována možnost hydromechanického tažení. Princip této metody je popsán v kapitole 3.2. Oproti tažení s přidržovačem je u HMT obtížnější správně určit parametry tažného procesu. Početní řešení nesymetrických výtažků je velmi náročné a vypočtené hodnoty je nejlépe ověřit pomocí simulačního softwaru pro HMT.

• Stanovení parametrů pro tažení

Tlak kapaliny v tažné komoře p_n

Tlak v komoře se pohybuje podle tloušťky plechu v rozmezí $p_n = 25 \div 75 \text{ MPa}$, u korozivzdorných ocelí je to rozmezí $p_n = 70 \div 120 \text{ MPa}$. Volím $p_n = 80 \text{ MPa}$ při tloušťce plechu 1,5 mm.

Tažná síla

$$F_{ht} = F_{kt} + p_n \cdot S [\text{kN}]$$

kde: F_{ht} ...je síla pro tažení

F_{kt} ...je síla pro tažení pevným nástrojem [kN]

p_n ...tlak kapaliny v tažné komoře [MPa]

S ...plocha půdorysného průmětu výtažku [mm^2]

$$F_{ktl} = F_{tcl} = 642212,25 \text{ N}$$

$$F_{ht1} = F_{kt1} + p_n \cdot S_1 = 642213,25 + 90 \cdot 1320 = 761013,25 \text{ N} = 761 \text{ kN}$$

$$F_{kt2} = F_{tc2} = 567670,2089 \text{ N}$$

$$F_{ht2} = F_{kt2} + p_n \cdot S_2 = 567670,2089 + 90 \cdot 1080 = 664870,2089 \text{ N} = 664,9 \text{ kN}$$

Přidržovací síla

Při HMT je přidržovací síla ovlivněna působením kapaliny, pro ideální průběh HMT se požaduje možnost plynule měnit přidržovací sílu v závislosti na změnách tlaku kapaliny v tažné komoře a na zmenšování plochy příruby.

Pokud nelze hodnotu přidržovací síly regulovat, stanoví se konstantní přidržovací tlak v rozmezí $p_p = 8 \div 12 \text{ MPa}$.

Přidržovací síla F_p by se měla pohybovat v rozmezí $F_p = (0,3 \div 0,4) \cdot F_{ht}$

- Mezera mezi tažníkem a přidržovačem z
Volí se v závislosti na tloušťce materiálu, pro plech o tloušťce $t_0 = 1,5 \text{ mm}$ volím z rozmezí $z = 8 \div 14 \text{ mm} \rightarrow z = 8 \text{ mm}$.
- Zaoblení přidržovače
Pro plech o tloušťce $t_0 = 1,5 \text{ mm}$ volím z rozmezí $R_1 = 1 \div 5 \text{ mm} \rightarrow R_1 = 3 \text{ mm}$.
- Zaoblení tažné hrany
Opět se volí s ohledem na tloušťku materiálu, $t_0 = 1,5 \text{ mm}$ volím $R = 20 \text{ mm}$.
- Zaoblení tažníku
Tloušťka materiálu $t_0 = 1,5 \text{ mm}$ volím $R = 20 \text{ mm}$.

Výběr varianty řešení

Pro další řešení je vybrána varianta I tažení pevným nástrojem, jelikož varianty II je finančně náročnější.

Technologický postup výroby [19]

Číslo operace	Název operace	Použité zařízení
1.	Vstupní kontrola	
2.	Příprava polotovaru	Tabulové nůžky
3.	Lisování zadané součásti	Lis: CTH 250
4.	Kontrola jakosti výtažku	
5.	Ostřížení příruby	Pravítkové nůžky
6.	Odmaštění, odstranění ostřin	
7.	Výstupní kontrola	

Před samotným zpracováváním plechu je nutné provést mechanické zkoušky na ověření požadovaných vlastností materiálu. Provádí se tahová zkouška a Erichsenova zkouška hlubokotažnosti podle ČSN 42 0406. V druhé operaci jsou z tabule nastříhány pásy plechu, ze kterých se vystříhne požadovaný tvar přístřihu. Následuje lisování na požadovaný tvar zadané součásti na lisu CTH 250. Vystřížený přístřih je obsluhou vložen do prostoru lisu, kde je upnut a namazán mazivem. Jako mazivo byl zvolen PFINDER AP 168/21, který je určen pro hluboké tažení. Po vytažení do požadovaného tvaru se zkontroluje kvalita povrchu, například zda není poškrábán. Kontroluje se, zda nedošlo ke ztenčení stěny a v některých kritických místech ke vzniku trhlin. Zde se výtažky roztřídí na kvalitní kusy a zmetky. U dobrých kusů se ostříhne příruba. Následně se výlisek odmastí a zbaví nežádoucích ostřin. Poslední operací je výstupní kontrola, po které je výtažek předán k expedici.

4.7 Volba vhodného tvářecího stroje [15]

Pro tažení se nejčastěji používají hydraulické a mechanické lisy. Vzhledem k vybrané variantě, zadanému materiálu a netypického tvaru výrobku se jako optimální jeví použití hydraulického lisu. Při volbě konkrétního lisu je nutné zvážit typ lisu a jeho zdvih, výška sevření lisu, rozměry stolu a beranu, musí umožnit upnutí nástroje a samozřejmě síla lisu, která musí být větší než je síla potřebná pro tažení. Podle výše uvedených hledisek a s přihlédnutím k taženému materiálu (nerezová ocel) byl zvolen k výrobě hydraulický univerzální lis CTH 250, jehož výrobcem je firma ŽĎAS, a. s. Tento lis splňuje požadavky pro tažení zadané součásti, navíc je vybaven spodním přidržovačem.

Některé technické parametry vybraného tvářecího stroje:

Lisovací síla	2500[kN]
Zdvih beranu	800[mm]
Rychlosti beranu – maximální pracovní	70[mm/s]
Rychlosti beranu – přibližovací	400[mm/s]
Rychlosti beranu – zpětná	426[mm/s]

5. Konstrukční řešení tvářecího nástroje

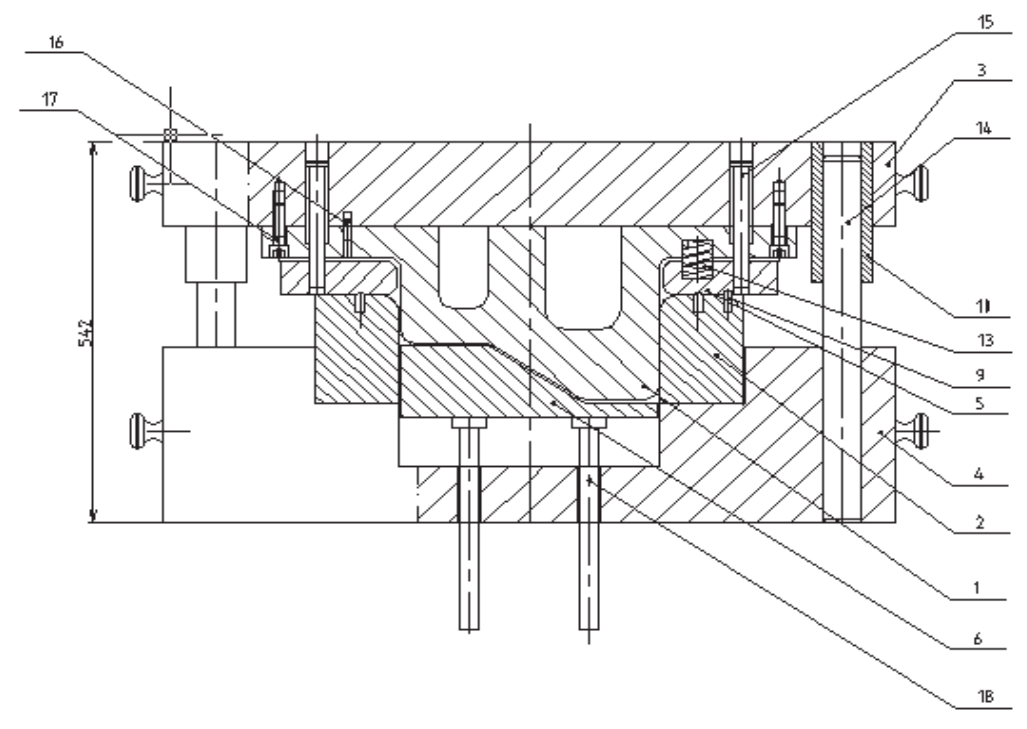
Při konstrukci tažného nástroje je nutné zvažovat řadu faktorů. Účelem je navrhnout nástroj, který bude poskytovat optimální poměr mezi kvalitou výtažku (náklady) a jeho tržní cenou (výnosy)

Faktory pro konstrukci tažného nástroje:

- **Konstrukční** – konstrukční řešení zohledňující složitost požadovaného výtažku, jeho životnost a použitý materiál
- **Technologické** – volba technologie má zásadní vliv na finální výrobky, a to od volby lisovacího stroje, ustavení polotovaru až po vhodný tvar a uchycení přístříhu v nástroji
- **Ekonomické** – tedy takové konstrukční řešení umožňující produkovat výtažky při takových nákladech zabezpečující konkurenceschopnost výrobku na trhu. Toto hledisko je v tržním prostředí klíčové při vlastním rozhodnutí o zahájení výrobního procesu.

Konstrukční řešení navrženého nástroje

Navržený nástroj zohledňuje vybraný lisovací stroj a je založen na principech klasické koncepce tažného nástroje. Tažník pohybem vyvíjí tlak na tažnici, na které je ve správné poloze upevněn přístříh. Tažnice je umístěna ve spodní desce tažného nástroje. Součástí nástroje z důvodu hloubky výtažku a existence přírub je přidržovač, který je připevněn k horní desce čtyřmi čepy. Zajištěn je osmi pružinami. Správnou pozici protilehlého horního a dolního dílu tažného nástroje zajišťují čtyři vodící čepy. Spodní vyhazovač slouží k vyjmutí finálního výlisku.



Volba materiálu nástroje

Vzhledem k rozměrům tažného nástroje a nákladů výroby je použita šedá litina. Šedá litina

422430 je běžně používaný materiál vhodný pro odlévání odolávající vyšším tlakům, teplotám a namáhání.

Vlastnosti materiálu:

-mez pevnosti v tahu $R_m = 300$ MPa

-nejvyšší tvrdost HB=300

Přidržovač a brzdící lišty jsou z oceli 12060, která je vhodná k zušlechťování a k povrchovému kalení.

Vlastnosti materiálu:

-mez pevnosti v tahu $R_m = 610$ MPa

-mez skluzu $R_e = 610$ MPa

Přiložená výkresová dokumentace:

- Výkres výtažku
- Výkres tažnice
- Výkres tažníku
- Sestava tažného nástroje
- Kusovník

6. Ekonomické zhodnocení [18]

Ekonomická stránka zvolené varianty technologie výroby je neoddělitelnou součástí při komplexním zhodnocení výrobního postupu.

Celkové náklady jsou ovlivňovány řadou faktorů:

- Složitost technologického postupu – počet operací
- Náročnost obsluhy nástroje – osobní náklady
- Rychlost opotřebení a životnost nástroje
- Materiál výrobku
- Zmetkovitost aj.

Náklady výroby:

- a. Fixní náklad
- b. Variabilní náklady:
 - Přímé náklady
 - Náklady na materiál
 - Provozní náklady na stroj
 - Náklady na elektrickou energii
 - Nepřímé náklady

Výpočet nákladů

Přímé náklady:

- Náklady na materiál [N_m]

$$N_m = S_{tab} \cdot C_m = 16667 \cdot 3732,5 = 62209577,5 K\check{r}$$

S_{tab} – spotřeba tabulí

C_m – cena za 1 tabulku (nabídky z internetu)

- Provozní náklady na stroj [N_s]

$$N_s = t \cdot t_s \cdot Q = 0,0016 \cdot 1000 \cdot 50000 = 80000 K\check{r}$$

$$t = t_A + t_B = t_A + \frac{t_B}{q_v} = 0,0011 + \frac{0,1}{200} = 0,0016$$

$$t_A = \frac{1}{z_d \cdot 60} = \frac{1}{15 \cdot 60} = 0,0011$$

z_d – počet zdvihů [zd/min]

t_A – výrobní čas [Nhod]

t_B – přípravný čas na jednu dávku [Nhod], zvolen 0,1

t_s – strojní hodinová mzda a náklady na čištění stroje, $t_s = 1000 K\check{r}/\text{hod}$

Q – výrobní množství [ks/rok] – 50 000 ks/rok

- Náklady na elektrickou energii [N_e]

$$N_e = P \cdot t_A \cdot Q \cdot c_e = 55 \cdot 0,0011 \cdot 50000 \cdot 3,5 = 10587,5 K\check{c}$$

c_e – cena elektrické energie 3,50 [Kč/kWh]

P – příkon stroje 55 [kW]

Celkem přímé náklady:

$$N_p = N_m + N_s + N_e = 62300165 K\check{c}$$

Celkem přímé náklady na jeden výtažek

$$N_{pj} = \frac{N_p}{Q} = 1246 K\check{c}$$

Nepřímé náklady:

-náklady na opravy a údržbu, opotřebení stroje, odpisy stroje, mzdy aj.

$$N_N = \frac{N_{pj} \cdot Q \cdot (VR + SR)}{100} = \frac{1246 \cdot 50000 \cdot 410}{100} = 255430000 K\check{c}$$

VR – výrobní režie 300 [%]

SR – správní režie 110 [%]

Procenta výrobní a správní režie byla odhadnuta, v praxi by byly nahrazeny skutečnými podnikovými režiiemi.

Variabilní náklady [N_v]

$$N_v = N_N + N_p = 317730165 K\check{c}$$

Variabilní náklady na jeden výtažek [N_{vj}]

$$N_{vj} = \frac{N_v}{Q} = 6354,60 K\check{c}$$

Fixní náklady [N_f]

-náklady, které musí být hrazeny i v době, kdy je pozastavena výroby. Tedy náklady nezávislé na rozsahu produkce. Jedná se především o pořizovací cenu nástroje (dále např. nájem výrobních prostor). Cena nástroje byla odhadnuta na 500 000 Kč.

$$N_f = 500000 K\check{c}$$

Celkové náklady [N_c]

$$N_c = N_v + N_f = 318230165 K\check{c}$$

Celkové náklady na jeden výtažek [N_{cj}]

$$N_{cj} = \frac{N_c}{Q} = 6364,60 K\check{r}$$

Výše 15% zisku při výrobě

$$Z = N_c \cdot 0,15 = 47734524,75 K\check{r}$$

Cena jednoho výtažku při výrobě s 15% ziskem

$$C = \frac{(N_{vj} \cdot Q) + N_f + Z}{Q} = 7319,30 K\check{r}$$

Bod zvratu

$$Q_{BZ} = \frac{N_f}{C - N_{vj}} = 518,3$$

Bod zvratu je hranice ve výrobním procesu (vyrobené produkce), kdy dochází k vyrovnávání nákladů a výnosů. Při výrobě nad 518, 3 kusů dochází k tvorbě zisku. Výroba při sérii 50000 kusů ročně je rentabilní.

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout výrobní postup nerotační součásti s přírubou metodou plošného tváření. Tento výtazek je vyráběn z nerezové oceli pro uplatnění v potravinářském, chemickém či spotřebním průmyslu. Na základě zadání a cíle je práce rozdělena do dvou tématických bloků.

První teoretická část je věnována literární rešerši dostupné odborné literatury české i zahraniční na problematiku tažení. Jsou zde popsány základní principy tažení zvláště rotačních a nerotačních součástí, dostupné metody tažení a další teoretické poznatky nezbytné pro naplnění cíle práce.

Část praktická je zaměřena na konkrétní zadání výroby nerotační součásti. Na základě znalostí z předešlého bloku bylo jedinou vhodnou technologií výroby hluboké tažení, a to z důvodu technických i ekonomických.

Samotné tažení by bylo možné provést několika způsoby. V rámci práce byly navrženy dva způsoby řešení. První variantou by bylo použití klasického tažení pevným nástrojem na dva tahy. Tento výrobní postup splňuje, jak technické parametry součásti, tak ekonomickou stránku výroby. Druhou variantou by bylo použití nekonvenční metody tažení – Hydromechanického tažení. Výrobní postup na principu této metody by produkoval výrobky vysoké kvality (dochází k minimálnímu ztečení stěny materiálu), ale zásadní nevýhodou je vysoká náročnost na strojovou vybavenost pracoviště a tím vyšší pořizovací náklady výroby. Z toho důvodu jsem se rozhodl v práci dále rozpracovávat první variantu, tedy výrobu tažením pevným nástrojem dvěma tahy, pro kterou byla provedena výpočtová část, výběr lisovacího stroje a konstrukce tažného nástroje.

V rámci druhého bloku jsem se pokusil o ekonomické zhodnocení, které je však pouhým nástinem možného výpočtu se značně omezeným využitím. Důvodem je nedostatek relevantních údajů o skutečných nákladech výrobního programu v prostředí konkrétního podniku. Tyto náklady, například náklady na energii, pořizovací cena nástroje, osobní náklady, režie byly pouze odhadnuty pro účel výpočtu. Zároveň při stříhání přístříhu vzniká poměrně široký pás odpadu, který může být dále využit pro tažení menších součástí.

Cena výtazku při 15% zisku byla odhadnuta na přibližně 7319 Kč.

Seznam použitých označení a symbolů

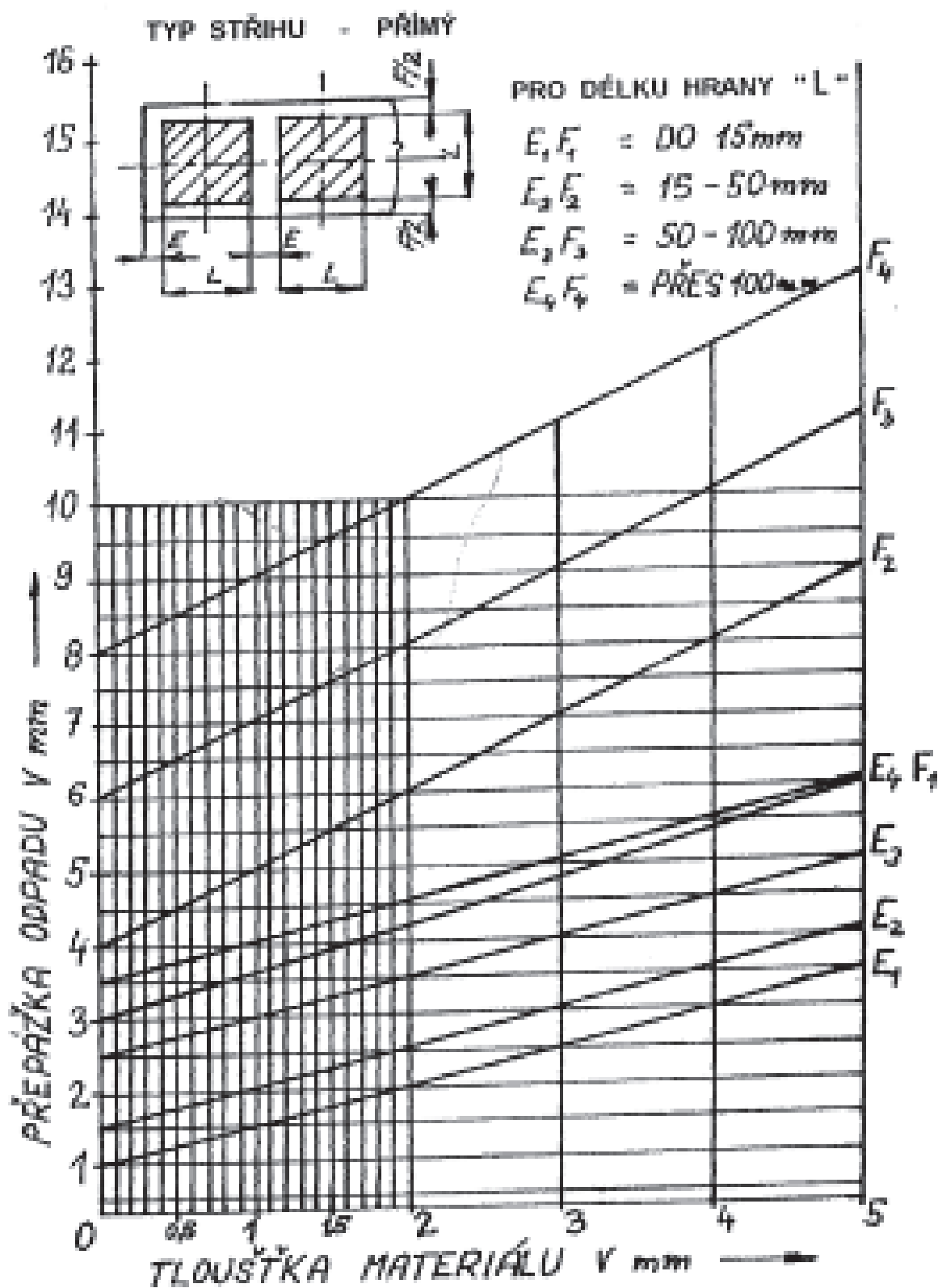
a, b	[mm]	Rozvinuté výšky stěn
A_5	[%]	Tažnost
C	[kč]	Cena jednoho výtažku
c_e	[kč/kWh]	Cena elektrické energie
c_m	[kč]	Cena za 1 tabuli
d	[mm]	Konečný průměr výtažku
D	[mm]	Průměr přístřihu
E	[MPa]	Modul pružnosti
F_c	[N]	Celková tažná síla
F_o	[N]	Síla potřebná na ohyb rovných stěn
F_p	[N]	Přidržovací síla
F_t	[N]	Tažná síla
F_{tmax}	[N]	Maximální tažná práce
F_v	[N]	Vyhazovací síla
h	[mm]	Hloubka výtažku
h_d	[mm]	Výška výtažku bez zaoblení dna
h_s	[mm]	Rozvinutá délka stěny výtažku
K	[-]	Stupeň tažení
K_1, K_2	[mm]	Krok pro stříhání
L	[mm]	Součet délek přímých částí stěn výtažku
l	[mm]	Dílčí délky výtažku
m	[-]	Součinitel tažení
M_0	[-]	Součinitel tažení obdelníkové nádoby
M_a	[-]	Součinitel tažení pro ovál o straně a
M_b	[-]	Součinitel tažení pro ovál o straně b
M_{h1}	[-]	Součinitel tažení hranaté nádoby (první tah)
M_{h2}	[-]	Součinitel tažení hranaté nádoby (druhý tah)
M_{h3}	[-]	Součinitel tažení hranaté nádoby (třetí tah)
M_{kr}	[-]	Kritický součinitel tažení
M_{st}	[-]	Střední hodnota součinitele tažení
m_v	[m ²]	Využití materiálu
n	[-]	Počet tažných operací
N_c	[kč]	Celkové náklady
N_f	[kč]	Fixní náklady
N_m	[kč]	Náklady na materiál
N_N	[kč]	Náklady nepřímé

N_p	[kč]	Přímé náklady
N_{pi}	[kč]	Přímé náklady na jeden výtažek
N_s	[kč]	Provozní náklady na stroj
N_v	[kč]	Náklady variabilní
N_{vi}	[kč]	Náklady variabilní na jeden kus
O	[mm]	Obvod dna výtažku
P	[kW]	Příkon stroje
p_n	[MPa]	Tlak kapaliny v tažné komoře
p_p	[MPa]	Měrný přidržovací tlak
P_t	[ks]	Celková spotřeba tabulí plechu
P_{vys}	[ks]	Počet výstřížků z tabule
Q	[ks/rok]	Množství výtažků
Q_{BZ}	[ks]	Bod zvratu
R_c	[mm]	Poloměr kruhového přístřihu
r_d	[mm]	Poloměr zaoblení výtažku
R_e	[MPa]	Mez kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
R_n	[mm]	Velikost zaoblení rohu
R_o	[mm]	Redukovaný poloměr přístřihu
r_t	[mm]	Poloměr zaoblení
S	[mm ²]	Plocha přístřihu
S_c	[mm ²]	Činná plocha pod přidržovačem
S_{cvys}	[m ²]	Plocha všech výstřížků
S_R	[%]	Správní režie
S_{tab}	[ks]	Spotřeba tabulí
S_v	[mm ²]	Plocha výtažku
\bar{s}	[mm]	Šířka pásu
t	[mm]	Tloušťka plechu
t_A	[N/hod]	Výrobní čas
t_B	[N/hod]	Přípravný čas
t_s	[kč/hod]	Strojní hodinová mzda a náklady na čištění stroje
V_R	[%]	Výrobní režie
x	[mm]	Vzdálenost těžiště od osy tělesa
z	[-]	Materiálová konstanta
Z	[kč]	Zisk
z_d	[zd/hod]	Počet zdvihů
z_m	[mm]	Tažná mezera
τ_{ps}	[MPa]	Pevnost ve sřihu plechu

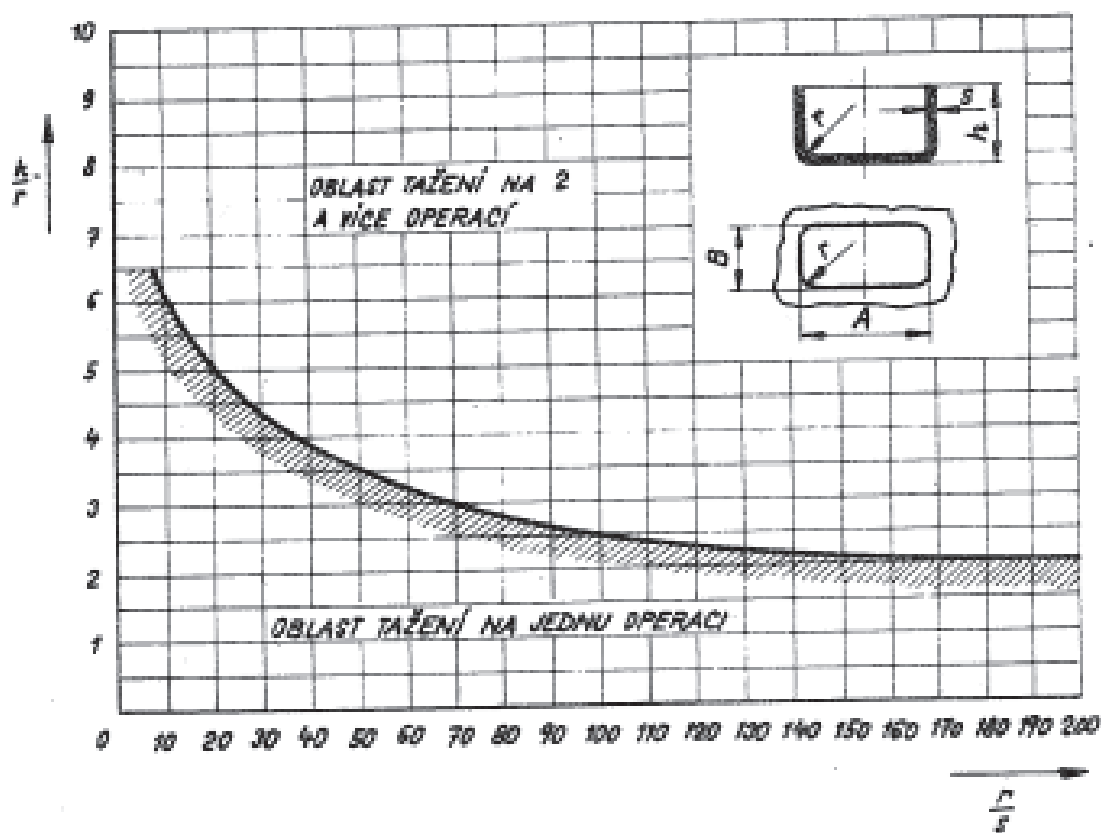
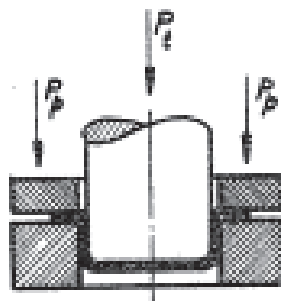
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.
2. Kolektiv autorů: Lisování. Nakladatelství technické literatury Praha. 1971. 544 stran. ISBN 04-234-71
3. KŘÍŽ, Rudolf et al. Strojírenská příručka. Nakladatelství SCIENTA. 1998. 256 s. Svazek 8. ISBN 80-7183-054-2.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
5. BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
6. ČSN 227301: Lisovací nástroje. Tažení dutých válcových výtažků. Účinnost od 1. 11. 1969
7. ČSN 227303: Lisovací nástroje. Tažení dutých čtyřhranných výtažků. Účinnost od 1. 10. 1967
8. FOREJT, Milan. Teorie tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
9. BLAŠTÍK, František. et al. Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvarania. Nakladatelství technické literatury Praha, 1988, 832 s. ISBN 063-563-87.
10. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
11. KOTOUČ, Jiří et al. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: Vydavatelství CVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
12. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. Speciální technologie I. Plošné a objemové tváření. Nakladatelství VUT v Brně. Vydání druhé. 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.
13. ŠVERCL, Josef. Konstrukce, rozviny a stříhy výrobků z plechu. 1. vyd. Pedagogické nakladatelství SCIENTIA. 144 s. ISBN 80-7183-176-X.
14. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. Speciální technologie I a II – návody do cvičení. VUT v Brně. 1991. 109 s. ISBN 80-214-0259-8.
15. Katalog obráběcích a tvářecích strojů. Svaz výrobců a dodavatelů strojírenské techniky 2002 – 2004.
16. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. Úvod do tváření II. Dostupné z http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf
17. LENFELD, Petr. Technologie II – část I [online]. Dostupné z < http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm >
18. www.ferona.cz
19. www.lubricant.cz
20. AVITZUR, Betzaler. Handbook of metalforming Processes, Wiley Interscience Pub. 1983.
21. TOMÁŠEK, Jiří. Směrnice pro stanovení mezních stupňů přetvoření pravidelných tvarů součástí z plechu. Výzkumný ústav strojů a technologie tváření. 1975. 52 s.
22. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. Technologie tváření: Návody do cvičení. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 103 s. ISBN 80-214-2881-3.

Přílohy



MEZNÍ STUPEŇ TAŽENÍ ČTYRHRANNÝCH VÝTAŽKŮ
(TAŽENÍ S PŘIDRŽOVAČEM)



STANOVENO ZA PODMÍNEK

HLUBOKOTAŽNÝ OCELOVÝ PLECH TYPU ČSN 11320 A POD.

$$B \geq 10r$$

$$s = (0,4 \div 1,5) \text{ mm}$$

Hydraulické univerzální lis Hydraulic Universal Presses Hydraulische Universalpressen

CTH 250 CTH 400



Výrobce
Manufacturer
Hersteller

ZDAS

ZDAS, a. s.

Adresa: Strojírenská 6, P. O. BOX 145
591 71 Žďár nad Sázavou
Česká republika
Tel.: 00 420(0)616/64 65 51, 64 23 00
Fax: 00 420(0)616/64 28 02
E-mail: j_husek@zdas.cz
<http://www.zdas.cz>

HLAVNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE	MACHINE SPECIFICATIONS	TECHNISCHE DATEN		
Síly lisovací zpětná vyhazovače/přidržovače horního vyhazovače	Forces pressing return of ejector/blankholder of upper ejector	Kräfte Preßkraft Rückzugkraft Kraft des Auswerfers/Niederhalters Kraft des oberen Auswerfers	CTH 250 kN kN kN kN	CTH 400 4 000 590 1 250 160
Rychlosti beranu přiblížovací pracovní max. pracovní min. zpětná	Speeds of slide approach working max. working min. return	Stoßelgeschwindigkeiten Annäherungsgeschwindigkeit max. Arbeitsgeschwindigkeit min. Arbeitsgeschwindigkeit Rücklaufgeschwindigkeit	mm.s⁻¹ 400 70 20 426	mm.s⁻¹ 400 66 16 469
Rozměry pracovní zdvih seřízení zdvih vyhazovače/přidržovače zdvih horního vyhazovače	Working dimensions stroke shut height stroke of ejector/blankholder stroke of upper ejector	Arbeitsmaße Hub Einbauhöhe Hub des Auswerfers/Niederhalters Hub des oberen Auswerfers	mm 800 800 320 330	mm 1 000 1 000 400 400
Rozměry stolu délka šířka Výkon hlavního motoru	Table dimensions length width Main motor output	Tischmaße Länge Breite Hauptmotorleistung	mm 1 000 1 250 kW	mm 1 250 1 600 75
Rozměry lisu délka šířka výška	Machine dimensions length width height	Pressenmaße Länge Breite Höhe	mm 1 000 2 200 5 600	mm 1 250 2 500 6 500

• Vzhledem k neustálému vývoji jsou údaje v podrobnostech nezávazné • In view of continued development the details are not binding •
• Mit Hinsicht auf die technische Weiterentwicklung sind die Daten in Einzelheiten unverbindlich •